

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**INTERPRETACIÓN SÍSMICO-ESTRUCTURAL DE LOS
HORIZONTES SOMEROS DEL CAMPO RÍO CARIBE
PERTENECIENTE AL PROYECTO MARISCAL SUCRE.**

**TRABAJO ESPECIAL DE
GRADO PRESENTADO
POR EL BACHILLER
CARLOS ELEAZAR
TORRES PARA OPTAR
AL TÍTULO DE
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE DE 2022

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: INTERPRETACIÓN SÍSMICO-ESTRUCTURAL DE LOS HORIZONTES SOMEROS DEL CAMPO RÍO CARIBE PERTENECIENTE AL PROYECTO MARISCAL SUCRE, presentado por el (los) bachiller (es): CARLOS ELEAZAR TORRES, cédula de identidad N° 17.847.336 como requisito parcial para optar al título: GEÓLOGO ha sido APROBADO por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente

Nombre y Apellido del Prof.:

(Asesor)
Francisco Montenegro
(Asesor)
Jorge Abad
(Asesor)
Rosario Rivasalla

Firma

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Prof. Rosario Rivasalla
Jefe del Departamento de Geología

Prof. Francisco Montenegro
Director de Escuela de Ciencias de la Tierra



En Ciudad Bolívar a los 20 del mes de Octubre de 2022

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por ser mi guía.

A mi mama Josefina porque sé que desde donde este viéndome va a sentirse muy orgullosa de esta meta alcanzada, por ser siempre mi apoyo y mi guía.

Con mucho amor a mi tía Vidalina y mis hermanas por brindarme todo su apoyo.

A mis dos hijos por ser ese impulso para luchar y seguir avanzando en este proyecto

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por todo lo bueno y lo malo que ha ocurrido en mi vida, por darme las fuerzas para seguir adelante y guiarme por este camino.

A mi compañera de vida por darme ese impulso y apoyarme en este camino para alcanzar esta meta.

A todas las personas que han estado involucradas en este proyecto, a mi tutor industrial Ingeniero Geólogo Marcos Guevara, Ingeniero de Petróleo Eddy Arreza, al Ingeniero Geólogo Luis Blanco, Geólogo Gelson Carpio, a mis amigos de la infancia, a mis tías lucia e irmi.

A la empresa PDVSA EEII Costa Afuera por brindarme todo el apoyo y todas las herramientas para poder alcanzar esta meta,

A la Universidad de Oriente por ser la casa más alta y formarme profesionalmente.

RESUMEN

El Campo Río Caribe se encuentra ubicado al Norte de Paria Costa Afuera Oriental de Venezuela con una extensión de 206 Km² y donde se encuentran 2 pozos exploratorios RC 1 y RC 2. En este trabajo de grado se realizó la interpretación sísmica y estructural de los horizontes someros localizados dentro de las formaciones Cumana y Cubagua de la Cuenca de Carúpano. La metodología de trabajo consideró información sísmica 3D integrado con información de registros convencionales (rayos gamma ray, resistividad, sónico compresional, densidad, neutrón y cáliper), registros sísmicos (CheckShot) y topes estratigráficos de los pozos RC 2 y RC 1. Se interpretó las superficies estructurales CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5 en la herramienta geotecnológica *SeisWork*, donde se realizó la calibración sísmica-pozo y determinó la resolución sísmica vertical de 30-35 pies. En las superficies estructurales, el rumbo de la estructura es Suroeste-Noreste con buzamiento entre 1° y 4° hacia el Sureste y está presente un sistema de fallas normales con desplazamientos verticales que varían entre 10 y 300 pies. Los pozos RC 2 y RC 1, se ubican en la parte media de esta estructura tipo monoclinial. Con la interpretación estructural de los niveles se tiene una mejor definición de los patrones de fallas y por consiguiente disminuir el riesgo geológico operacional, diseño optimizado de la trayectoria de pozos y de la profundidad de asentamiento de los revestidores durante futuras perforaciones en el campo.

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación.....	5
1.5 Limitaciones de la investigación	6
CAPITULO II	7
GENERALIDADES.....	7
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	7
2.2 Geología regional	8
2.2.1 Cuenca de Carúpano	8
2.5 Geología local.....	17
CAPITULO III.....	22
MARCO TEÓRICO	22
3.1 Antecedentes de la investigación.....	22
3.2 Bases teóricas	24
3.2.1 Métodos sísmicos.....	24
3.2.1.1 Sísmica de reflexión.....	25
3.2.1.2 Sísmica de refracción	25
3.2.1.3 Interpretación sísmica	26

3.2.1.4 Impedancia acústica	27
3.2.1.5 Ondícula sísmica	27
3.2.1.6 Ondícula Ricker o fase cero	28
3.2.1.7 Ondícula fase mínima	29
3.2.1.8 Sísmograma sintético	29
3.2.1.9 Resolución sísmica.....	30
3.2.1.10 Velocidad sísmica	31
3.2.1.11 Atributos sísmicos.....	32
3.2.1.12 Descripción de algunos atributos sísmicos	32
3.2.2 Definición de términos básicos.....	36
3.2.2.1 <i>Cross-line</i>	36
3.2.2.2 Falla.....	36
3.2.2.3 Formación	36
3.2.2.4 Frecuencia	36
3.2.2.5 Geófono.....	37
3.2.2.6 Malla o <i>grid</i>	37
3.2.2.7 Horizonte.....	37
3.2.2.8 Línea (<i>Inline</i>).....	38
3.2.2.9 Marcador geológico	38
3.2.2.10 Reflector sísmico.....	38
3.2.2.11 Tiro de verificación (<i>CheckShots</i>).....	38
3.2.2.12 Profundidad vertical verdadera (TVD)	39
3.2.2.13 Profundidad vertical verdadera-nivel del mar (TVDss).....	39
3.2.2.13 Profundidad vertical verdadera medida (TMD).....	39
3.2.2.13 Plataformas geotecnológicas	40
CAPITULO IV	41
METODOLOGÍA DE TRABAJO	41
4.1 Tipo de investigación	41
4.2 Diseño de la investigación.....	41
4.3 Población y muestra de la investigación	42
4.4 Flujograma y metodología de trabajo.....	43

4.5 Validación de la información geológica correspondiente al área de estudio ..	443
4.5 Recopilación y revisión de la información	44
4.5.2 Correlación estratigráfica de marcadores geológicos	46
4.5.3 Calculo de la resolución sísmica vertical.....	48
4.5.4 Calibración sísmica-pozo.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5.5 Interpretación de horizontes y fallas	50
4.5.6 Conversión tiempo-profundidad de los mapas	53
4.5.7 Edición de mapas estructurales.....	55
CAPÍTULO V	56
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	56
5.1 Revisión de información geológica aplicada al estudio	56
5.2 Correlación estratigráfica de los marcadores geológicos	58
5.3 Resolución sísmica y calibración sísmica-pozo	60
5.3 Interpretación de horizontes y fallas.....	64
5.4 Mapas estructurales en profundidad.....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
REFERENCIAS	76
APÉNDICES.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación Geográfica del Campo Río Caribe. Tomada y modificada de PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012.....	7
Figura 2.2 Ubicación Geográfica de la Cuenca Carúpano y Campo Río Caribe. Tomada de PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).	9
Figura 2.3 Rasgos estructurales de la Cuenca Carúpano. Tomado de Pereira <i>et al.</i> , 1984).	10
Figura 2.4 Sección sísmica Norte-Sur Cuenca Carúpano. Tomado de (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).	12
Figura 2.5 Columna litoestratigráfica generalizada de la Cuenca Carúpano (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).....	13
Figura 2.6 Secciones sísmicas sector Alto de Patao (Modificado de Pinto, J. 2008). 19	
Figura 2.7 Registro tipo con columna estratigráfica, zona de interés de estudio de tesis y marcadores estratigráficos.....	20
Figura 3.1 Ondícula Ricker o fase cero. Tomado de (Brown, A., 2004).	29
Figura 4.1 Secuencia de trabajo. (Modificado de Landmark, 2004).....	44
Figura 4.2 Área de estudio y cobertura sísmica 3D	45
Figura 4.3 Relación entre el plan de trabajo con aplicaciones geotecnológicas según los objetivos de la tesis.....	46
Figura 4.4 Esquema de correlación estratigráfica de marcadores estratigráficos en el Campo Río Caribe, niveles someros.	48
Figura 4.5 Ejemplo de la secuencia del interpretación del horizonte sísmico CM4_CTORRES.	52
Figura 4.6 Ejemplo de la secuencia del interpretación del horizonte sísmico CM4_CTORRES.	52
Figura 4.7 Ejemplo de la secuencia de conversión del horizonte sísmico CB6_CTORRES.	54
Figura 4.8 Ajuste esquemático del horizonte sísmico CM4_CTORRES al tope estratigráfico.....	55
Figura 5.1 Cobertura de información sísmica 3D	57
Figura 5.2 Sección sísmica con los pozos de los campos Río Caribe y Mejillones... 59	
Figura 5.3 Sección estratigráfica Oeste-Este con los pozos RC 2 y RC 1.	60
Figura 5.4 Ventana de análisis de la calidad de imagen y frecuencia sísmica.	62
Figura 5.5 Sismograma sintético del pozo RC 2.....	63
Figura 5.6 Sismograma sintético del pozo RC 2.....	63
Figura 5.7 Representatividad de la ley de velocidades generada en los pozos RC 2 y RC 1.	64
Figura 5.8 Interpretación de horizontes y fallas Norte-Sur.....	66
Figura 5.9 Interpretación de horizontes y fallas Oeste-Este.	67
Figura 5.10 Interpretación de fallas en el atributo de semblanza marcador CM3.	68

Figura 5.11 Interpretación de fallas en el atributo de semblanza marcador CB6.	68
Figura 5.12 Superficie estructural del horizonte del marcador CM4.....	69
Figura 5.12 Superficie estructural del horizonte del marcador CB6.....	70
Figura 5.13 Mapa estructural del horizonte del marcador CB6.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Distribución de registros en los pozos.....	58
---	----

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A.1 Sección estratigráfica con los pozos RC 2 y RC 1, formaciones Cumana y Cubagua.	80
Apéndice B.1 Mapa de coherencia del nivel estructural CM4.....	82
Apéndice B.2 Mapa de <i>edge detection</i> del nivel estructural CM4.....	83
Apéndice B.3 Sección sísmica <i>inline</i> 2130 del nivel estructural CM4.....	84
Apéndice C.1 Superficie estructural en tiempo del tope CM3.....	86
Apéndice C.2 Superficie estructural en tiempo del tope CM2.....	87
Apéndice C.3 Superficie estructural en tiempo del tope CM1.....	88
Apéndice C.4 Superficie estructural en tiempo del tope CB5	89
Apéndice C.5 Superficie estructural en tiempo del tope CB4	90
Apéndice C.6 Superficie estructural en tiempo del tope CB3	91
Apéndice C.7 Superficie estructural en tiempo del tope CB2	92
Apéndice D.1 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope CM2.....	94
Apéndice D.2 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope CB4	95
Apéndice D.3 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope R5	96

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Mariscal Sucre inicia estudios en el año 2002 con base en la reinterpretación del volumen sísmico 3D que involucra los principales campos, es decir Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón. La reinterpretación de la sísmica 3D del Campo Río Caribe, el año 2002 permitió la generación de atributos de amplitud sísmica que aportaron insumos de carácter sísmico para evaluar variaciones litológicas en los yacimientos profundos. De allí la propuesta de Explotación de las Reservas de hidrocarburos con la perforación de nueve (9) pozos de desarrollo para el campo Río Caribe. Adicionalmente, el estudio de Geología y Potencial Hidrocarburífero del Norte de Paria del año 2013 llevado a cabo en la Gerencia de Proyectos Exploración y de Delineación División Costa Afuera propuso la identificación de (6) zonas de interés prospectivo a partir de la interpretación de transeptos sísmicos regionales de sísmica 2D y sísmica 3D.

Por lo tanto, el éxito operacional asociado a estas oportunidades de producción en el Campo Río Caribe, en parte está condicionado por el bajo nivel de caracterización estructural de los niveles estratigráficos someros que se encuentran en las formaciones Cumana y Cubagua, es decir los marcadores estratigráficos CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5.

De manera que este estudio de tesis de grado tiene como fin principal realizar una interpretación sísmica-estructural de los horizontes someros del Campo Río Caribe con base en la interpretación de un área de 670 Km² del nuevo volumen de datos sísmicos 3D del año 2007, utilizando un mallado cada 500 m. Para lograr los objetivos se planteó un conjunto de actividades orientadas en donde se

correlacionaron los marcadores estratigráficos regionales utilizando información de registros pozos y posterior calibración sísmica-pozo. Seguido de la interpretación de los horizontes sísmicos asociados a los marcadores geológicos CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1, R5. Además de la interpretación de fallas integrando al flujo de trabajo atributos sísmicos convencionales de coherencia y semblanza. Por último, la conversión tiempo-profundidad de los diferentes mapas estructurales en el dominio de tiempo con base en mapas de velocidades. De esta manera, disponer de mapas estructurales en profundidad necesarios para un mejor control del seguimiento geológico operacional de los pozos nuevos propuestos en el Plan de explotación, así como sustentar el diseño de la trayectoria de pozos, optimizar la profundidad del asentamiento de los revestidores e identificar posibles acumulaciones de gas en la zona somera.

CAPITULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El Campo Río Caribe fue descubierto en 1981 como parte del proyecto de exploración Costa Afuera desarrollado por Lagoven S.A (1978-1983) y se encuentra ubicado al Oeste del área del Proyecto Mariscal Sucre. La zona de estudio, se extiende por una superficie de 670 Km².

Para este campo se han perforado dos (2) pozos exploratorios (RC 1 y RC 2) que penetraron la mayoría de yacimientos y prospectos. Este campo ha sido objeto de varios estudios geológicos, pero la mayoría de ellos enfocados a los niveles profundos; ya que es la zona donde se encuentran los yacimientos probados y prospectos gasíferos en la Formación Cubagua. Los niveles estratigráficos someros que se encuentran en las formaciones Cubagua y Cumana del campo también son importantes para el éxito del seguimiento y control operacional de las perforaciones de pozos nuevos contemplados en el Plan de Explotación Oficial. Actualmente, se tiene un nuevo cubo sísmico 3D, adquirido en el año 2007 y no se cuenta con una interpretación de este volumen de datos sísmicos a nivel de los horizontes someros, por lo tanto se presenta la necesidad de realizar una interpretación sísmico-estructural a este nivel, y con ello disponer de una herramienta geológica de trabajo necesaria para la planificación óptima del asentamientos de revestidores, diseño de la trayectoria de pozos, programas de perfilaje de registros, además de mejorar el Modelo Geológico existente.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Interpretar sísmica y estructuralmente los horizontes someros localizados dentro de las formaciones Cumana y Cubagua, Campo Río Caribe, Cuenca de Carúpano.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Validar la información geológica correspondiente al área de estudio.
2. Correlacionar a grandes rasgos las unidades de interés utilizando información de registros pozos.
3. Estimar el enlace sísmica – pozo a partir de la generación del sismograma sintético.
4. Interpretar las superficies asociadas a las unidades geológicas de interés.
5. Determinar la conversión tiempo – profundidad a través de un modelo de velocidades.
6. Generar mapas de los horizontes interpretados.

1.3 Justificación de la investigación

El estudio realizado en este trabajo de grado representa la primera interpretación sísmica-estructural del nuevo volumen de datos sísmico 3D, la cual podrá ser utilizada para la evaluación estructural de los niveles someros y que permitan realizar un mejor seguimiento en el control de la perforación de los pozos nuevos propuestos en el Plan de Explotación del campo.

1.4 Alcance de la investigación

El presente estudio se realizó con el fin de obtener una interpretación sísmica-estructural de los horizontes someros del Campo Río Caribe, con base en el nuevo volumen de datos sísmicos 3D, enfocado en:

- Interpretación de los horizontes someros (formaciones Cumana y Cubagua).
- Generación de mapas de atributos sísmicos estructurales para los distintos eventos.
- Fundamentar el seguimiento geológico operacional de los pozos de desarrollo del Campo Río Caribe para apoyar la evaluación de la condición estructural de localizaciones, sustentar el diseño de la trayectoria de pozos, optimizar la profundidad del asentamiento de los revestidores e identificar posibles acumulaciones de gas en la zona somera.

1.5 Limitaciones de la investigación

La investigación podría estar limitada por la presencia de solo dos pozos exploratorios, los cuales están separados por una distancia aproximada de 7.4 Km. en un área de aproximadamente 670 Km².

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El campo se encuentra ubicado a 40 Km, aproximadamente del Norte de Paria y Oeste del Campo Mejillones a una profundidad de agua promedio de 300 pies. Posee una extensión de 206 Km², en el que se encuentran 2 pozos exploratorios RC 1 y RC 2, ambos separados a una distancia de 7.3 Km aproximadamente. Los pozos del Campo Río Caribe fueron perforados en la campaña exploratoria que desarrolló Lagoven S.A en el año 1972 al 1982, dando lugar al descubrimiento de reservas de hidrocarburo en niveles estratigráficos someros y profundos. En la Figura 2.1, se muestra una vista de la ubicación relativa del campo (línea segmentada y elíptica en color rojo).

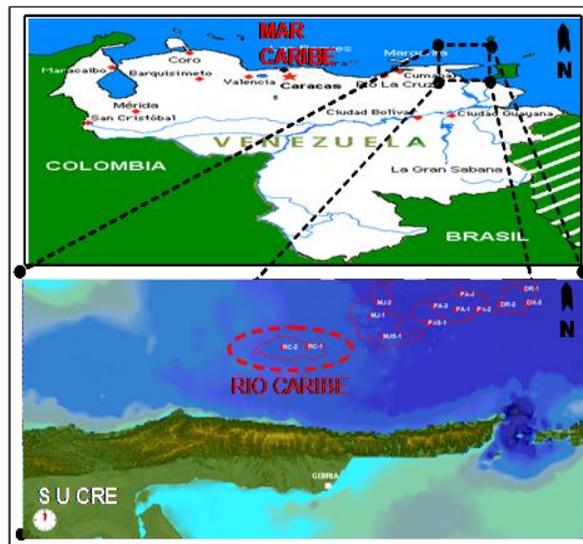


Figura 2.1 Ubicación Geográfica del Campo Río Caribe. Tomada y modificada de PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012

2.2 Geología regional

2.2.1 Cuenca de Carúpano

La Cuenca de Carúpano se ubica aproximadamente a 40 Km. al Norte de la Península de Paria, al Noreste de Venezuela, cerca de la frontera con Trinidad y Tobago. Cuenca de Carúpano ha sido de interés para la industria petrolera desde comienzos de la década de los 70s. Lagoven S.A (antigua filial de PDVSA) condujo campañas de exploración en la cuenca entre los años 1979 y 1983. Durante estas campañas se perforaron 21 pozos dentro de los cuales se encuentra el Río Caribe-1X (RC 1) y Río Caribe-2X (RC 2) en el sector del Alto de Patao.

Es una depresión estructuralmente compleja que se desarrollo a lo largo del Margen Meridional del Mar Caribe que según los datos geofísicos, la geología regional, así como los datos de registros y núcleos de 20 pozos exploratorios, sugieren una edad de Eoceno a reciente para el relleno sedimentario. El área aproximada de esta cuenca es de 30.000 Km² y se encuentra limitada al Norte por la Plataforma de los Testigos y Arco Volcánico de las Antillas Menores, al Sur con la Cadena Metamórfica de la Península de Araya – Paria, al Oeste con la Plataforma de Margarita-Coche-Cubagua y al Este con la cuenca esta abierta hacia el Océano Atlántico.

La cuenca de Carúpano está constituida por una Sub-cuenca principal denominada Sub-cuenca de Caracolito y otras de carácter secundario que son las Sub-cuencas de Paria, Araya y Sureste de Margarita (Figura 2.2). La Sub.-cuenca de Caracolito presenta los mayores espesores de la secuencia Terciaria y está delimitada al Norte por la Plataforma Margarita – Los Testigos y hacia el Sur por los Altos de

Patao y San Juan de las Galdonas, que a su vez la separan de las Sub-cuencas secundarias. Las Sub-cuencas de Paria y Araya se ubican en el margen Sur de la cuenca de Carúpano y están separadas entre sí por el Alto de San Juan de las Galdonas; son más jóvenes que la Sub-cuenca de Caracolito y se encuentran rellenas por una espesa secuencia sedimentaria del Neógeno.

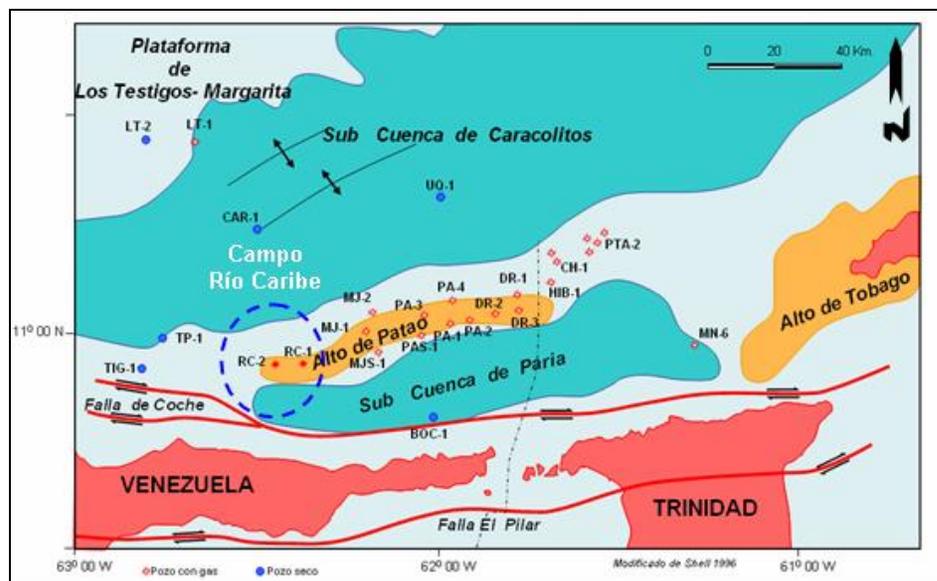


Figura 2.2 Ubicación Geográfica de la Cuenca Carúpano y Campo Río Caribe. Tomada de PDVSA-EEII Costa Afuera, (2012).

Todas estas Sub-cuencas están separadas por diferentes altos estructurales. Como por ejemplo: El Alto de Patao, donde se encuentra en Campo Río Caribe, y que está constituido por un Complejo Ígneo–Metamórfico–Mesozoico cubierto por una espesa secuencia volcánica - sedimentaria designada como “Unidad de Patao” por Talukdar, (1983) o Complejo de Mejillones por Mederos y Castro, (1984).

Al Sur del Alto de Patao se presenta una Sub-cuenca o fosa de la misma orientación denominada Sub-cuenca 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 Sub-cuenca de Araya. Existen fallas normales mas 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 Sub-cuencas (Carnevali *et al.*, 2000).

En cuanto al marco estructural Cuenca de Carúpano es una depresión estructuralmente compleja caracterizada por la presencia de estructuras plegadas con fallas principales con componente horizontal asociado a transcurrancia, fallas secundarias normales e inversas (Figura 2.3).

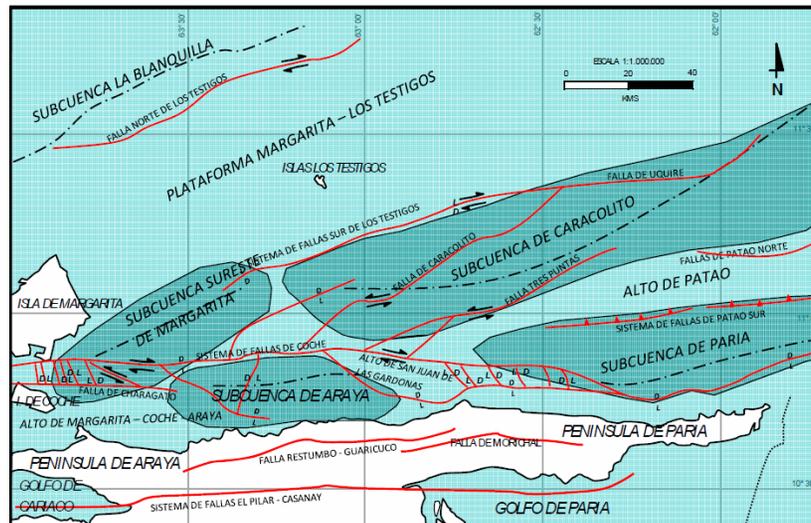


Figura 2.3 Rasgos estructurales de la Cuenca Carúpano. Tomado de Pereira *et al.*, 1984).

Las estructuras principales están asociadas a Altos Estructurales que delimitan las diferentes sub-cuencas en sistema tectónico distensivo en dos (2) fases tectónicas. La primera esta asociada al Periodo Cretáceo-Paleógeno - Neógeno y la segunda durante el Neógeno. El sistema de fallas de mayor jerarquía corresponde a las fallas que se ubican en el Sur de los Testigos, ubicada al Sur de la Plataforma Margarita - Los Testigos. Hacia el Este con la falla de Uquire, pero en fase compresiva. También se tienen las fallas de Caracolito y Tres Puntas (Carnevali *et al.*, 2000).

Por otro lado, también esta presente el sistema de fallas de Patao Sur interpretadas como fallas inversas de ángulo alto con leve buzamiento. En la segunda fase tectónica, durante el Mioceno – Cuaternario, el régimen tectónico en la cuenca de Carúpano fue complejo: extensional, compresional y transcurrente, con predominio del primero. Siendo más importantes las que forman el sistema de fallas de Coche y la reactivación de las fallas de Morón, San Sebastián y El Pilar (Carnevali *et al.*, 2000).

En la Figura 2.4, se muestra una vista de la sección sísmica en dirección preferencial Norte-Sur. En esta imagen se aprecia la arquitectura estructural de la Cuenca Carúpano con las Sub-cuencas de Caracolito y Paría, además del Alto Estructural de Patao donde se depositaron las secuencias sedimentarias o unidades litoestratigráficas sobre el Basamento Igneo-Metamórfico. Es importante mencionar que los intervalos estratigráficos en estudio de Tesis de Grado (formaciones Cumana y Cubagua) descansan sobre el Alto de Patao.

La configuración estratigráfica de la Cuenca de Carúpano está definida a partir de análisis de muestras de canal, núcleos convencionales, núcleos de pared, análisis

petrográficos, datos sísmicos y estudios de afloramiento. Estableciendo para la cuenca ocho (8) unidades litoestratigráficas formales que van desde el periodo Jurásico hasta el Cuaternario (formaciones Cumana, Cubagua, Tres Puntas, Caracolito, Los Testigos, Tigrillo, Mejillones y Bocas) (Mederos y Castro, 1984). Las formaciones de interés son Cumana y Cubagua y se describen brevemente a continuación. (Figura 2.5):

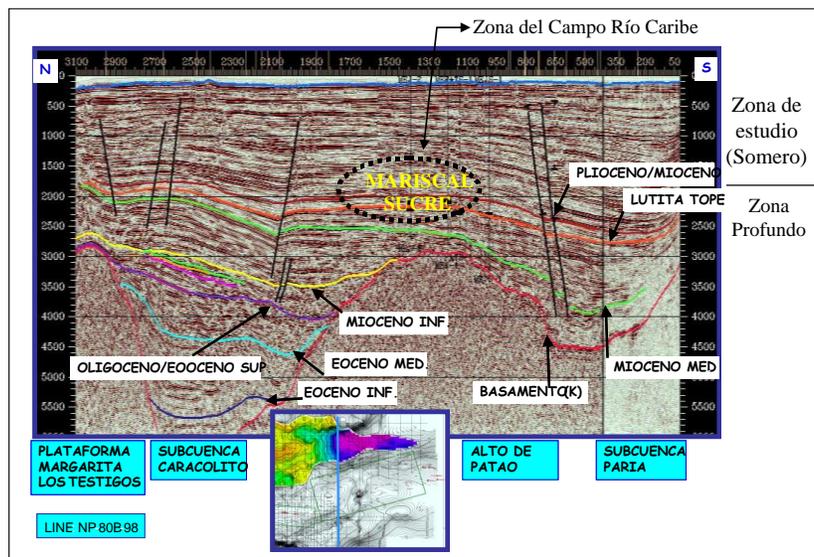


Figura 2.4 Sección sísmica Norte-Sur Cuenca Carúpano. Tomado de (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.1 Formación Cumana

De la Época Plioceno superior a Pleistoceno, está constituida litológicamente por bancos de moluscos, calizas orgánicas, areniscas calcáreas de color gris y grano fino. Fue sedimentada en aguas someras y tranquilas de plataforma ancha, poca inclinación y en otros casos ambientes detrás de arrecifes (Mederos y Castro, 1984; Carnevali *et al.*, 2000). Esta formación está presente en todos los pozos perforados,

aflorando también en la Península de Araya, Isla de Cubagua y en la Isla de la Tortuga (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

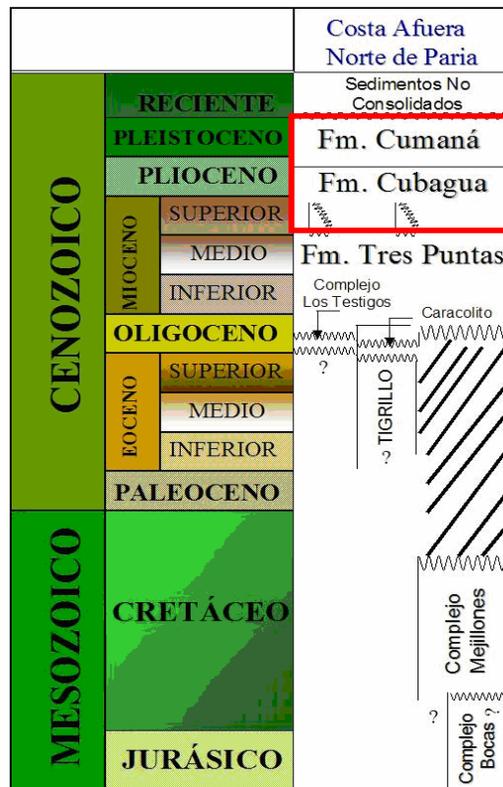


Figura 2.5 Columna litoestratigráfica generalizada de la Cuenca Carúpano (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Formación Cubagua

Es la unidad en la cual se ubica la sección prospectiva objeto de explotación del Proyecto Mariscal Sucre. En la sección tipo afloran unos 230' de espesor. Infrayace a la Formación Cumana con la cual está en contacto aparentemente concordante y suprayace a la Formación Tres Puntas, presentando un contacto

aparentemente concordante con esta última de acuerdo a la información vista en algunos pozos.

De la Época Mioceno al Plioceno superior, en su parte superior está constituida por bancos de moluscos, calizas arrecifales y areniscas grises de grano fino, sedimentadas en aguas tropicales someras de mar abierto y detrás de arrecifes. Hacia la parte inferior la formación cambia a sedimentos depositados en un ambiente nerítico interior a medio de plataforma abierta, el cual va pasando transicionalmente hasta ambiente batial, representados por lutitas grises con glauconita, limolitas grises e intervalos arenosos interdigitados con clásticos más finos, arrastrados hasta allí por corrientes de turbidez. La edad de esta formación es del Mioceno al Plioceno superior. La parte superior de esta unidad correlaciona con las formaciones Guatire, Tuy y Cumana, ubicadas en la zona Norcentral de Venezuela. Cronológicamente se ha correlacionado con la Formación Sprinvale de Trinidad y la parte superior de la Formación Manzanilla (Mederos y Castro, 1984; Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Formación Tres Puntas

Esta formación está constituida principalmente por lutitas gris verdoso, masivas a laminares, intercaladas con limolitas de color gris, interestratificadas con arenas de color gris de grano fino a medio. Dentro de las lutitas se nota la presencia de caliza grises glauconíticas y areniscas de color blanquecino con cemento calcáreo. La parte superior de la formación se sedimentó a una profundidad correspondiente a un ambiente nerítico inferior a medio, encontrándose en un prodelta o parte distal del abanico marino profundo. La parte inferior es de mayor profundidad, entre 500 a 1000 metros (ambiente batial). En esta última parte de la formación hay evidencia de

turbiditas por la presencia de calizas con grandes foraminiferos y areniscas de ambientes más someros en estas profundidades batiales (Mederos y Castro, 1984; Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Formación Tigrillo

Periodo Paleógeno (Época Eoceno Inferior a medio). Espesor promedio 2500 pies. Se reconocen intervalos en los pozos Tigrillo-1 Caracolito-1 y Tres Puntas-1. Como el Cretáceo, posee elementos metamórficos, volcánicos y sedimentarios, estas últimas de carácter restringido. Es infrayacente y discordante, por no existir Eoceno en el área, a la Formación Caracolito. Es un equivalente lateral en parte a las Formaciones Vidoño y Caratas (Mederos y Castro, 1984; Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Formación Caracolito

Terciario. Paleógeno. Oligoceno. El espesor en la sección tipo es de 3540' (Pozo Caracolito-1 entre 7500' y 11040'). Se adelgaza hacia el suroeste, pozos tres Puntas-1 y Tigrillo-1, en donde alcanza 1520 y 780' respectivamente. Predominantemente lutitas y limolitas color verdoso a gris, masivas o laminadas, localmente calcáreas y glauconíticas. Presenta areniscas de color verdoso de grano medio, pobre escogimiento. Infrayace concordante a la formación Tres Puntas y suprayace discordantemente (no Eoceno Superior) a la Formación Tigrillo. Correlaciona cronológicamente con la Formación Areo (Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Complejo Mejillones

Esta unidad litoestratigráfica del Cretáceo inferior a superior formada básicamente por sedimentos lutíticos calcáreos y arenosos interestratificados con mantos de lavas. No hay efectos de metamorfismo regional, aunque presentan alteración secundaria relacionada a procesos hidrotermales submarinos. En general, el ambiente de estos sedimentos es de aguas marinas abiertas y profundas, evidenciado por la presencia de radiolaritas que alternan con capas de basaltos y otro tipo de basaltos extrusivos. En el pozo PA 1, el tope erosionado del complejo se encuentra a 9833 (profundidad bajo el nivel del mar, pbnm) y la base, que no fue alcanzada por la perforación, está a más de 13553 pbnm (Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.2.1.2 Complejo Bocas

Consiste en metabasaltos que han sufrido un metamorfismo de bajo grado indicado por la recristalización de las plagioclasas a cristales de albitas que aún muestran vestigios de los cristales originales. No hay fósiles ni otros indicios que den idea de ambientes de depositación. Se sabe que el metabasalto se formó en fondo marino. La edad de este complejo se estima desde el Jurásico al Cretáceo inferior. En el pozo Bocas-1 el tope erosionado del grupo se encuentra a 10158 pbnm y la base que no fue alcanzada, está a más de 12190 pbnm (Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

2.5 Geología local

El Campo Río Caribe es parte de la Cuenca Carúpano y está representado con un relleno sedimentario que inicia en el Eoceno temprano en fase post-orogénica. La evolución e historia del relleno está asociado posiblemente con procesos de transtensión y transpresión debido a la interacción entre la Placa Caribe y Sur América. Sin embargo, también se debe considerar lo poco conclusivo de la evaluación geodinámica debido a la baja resolución de los datos sísmicos y, por la otra, a la escasez de puntos de control. Aunque en la cuenca se han perforado varios pozos y muy pocos contienen núcleos y/o alcanzan las rocas cretácicas o basamento e incluso es más compleja la situación cuando se trata de los intervalos estratigráficos someros (Carnevali *et al.*, 2000; PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012; PDVSA-Exploración, 2013).

Pero de manera general, se puede decir que la geología local está determinada por el Alto Estructural de Patao que condicionó el relleno sedimentario y patrón estructural en los campos Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón. Estos campos conforman y definen el Proyecto Mariscal Sucre. Esta estructura es de gran importancia desde el punto de vista petrolífero, debido a los grandes yacimientos gasíferos del Neógeno, posee aproximadamente 40 Km de longitud y una orientación NE-SO. Está delimitado por fallas al Norte y al Sur, está constituido por un complejo ígneo-metamórfico del Mesozoico, cubierto por una espesa secuencia sedimentaria (Talukdar, 1983; Mederos y Castro 1984; PDVSA-Exploración, 2013).

Las estructuras que se desarrollan son monoclinales y anticlinales de bajo buzamiento en conjunto con sistemas de fallas de tipo normal en echelón que se proyectan a lo largo de las secuencias estratigráficas del Mioceno y Plioceno. Los

desplazamientos verticales de éstas fallas varían entre 50 y 300'. También están presentes fallas de tipo normal e inversa que se interpretan en el basamento ígneo-metamórfico. No se descarta una componente dextral. En la Figura 2.6, se muestran dos secciones sísmicas en dirección Norte-Sur (A) y Oeste-Este (B). En ambas imágenes se puede visualizar la naturaleza estructural de las secuencias estratigráficas profundas y someras (zona en estudio de tesis).

En relación a la estratigrafía local se tiene para el nivel estratigráfico somero doce (12) marcadores geológicos regionales en el Alto de Patao. Cinco (5) de estos marcadores pertenecen a la Formación Cumana, mientras que los otros siete (7) restantes a la Formación Cubagua, hasta el horizonte R5, este último interpretado como el tope de un intervalo lutítico regional, sellante y suprayacente a los yacimientos profundos (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

La nomenclatura propuesta para los marcadores regionales interpretados sobre el horizonte R5, se fundamenta en el nombre de la formación donde se encuentra el horizonte establecido y el nivel estratigráfico (en números arábigos, donde los menores representan los intervalos más profundos). En la Figura 2.7, se muestra una columna estratigráfica tipo del pozo RC 2 con las formaciones Cumana, Cubagua, Tres Puntas y Complejo Mejillones, además de la zona de estudio de tesis (formaciones Cumana y Cubagua) con los marcadores geológicos CM 5 a CM 1, CB 6 a CB1 y R5 (PDVSA-EEII Costa Afuera, 2012).

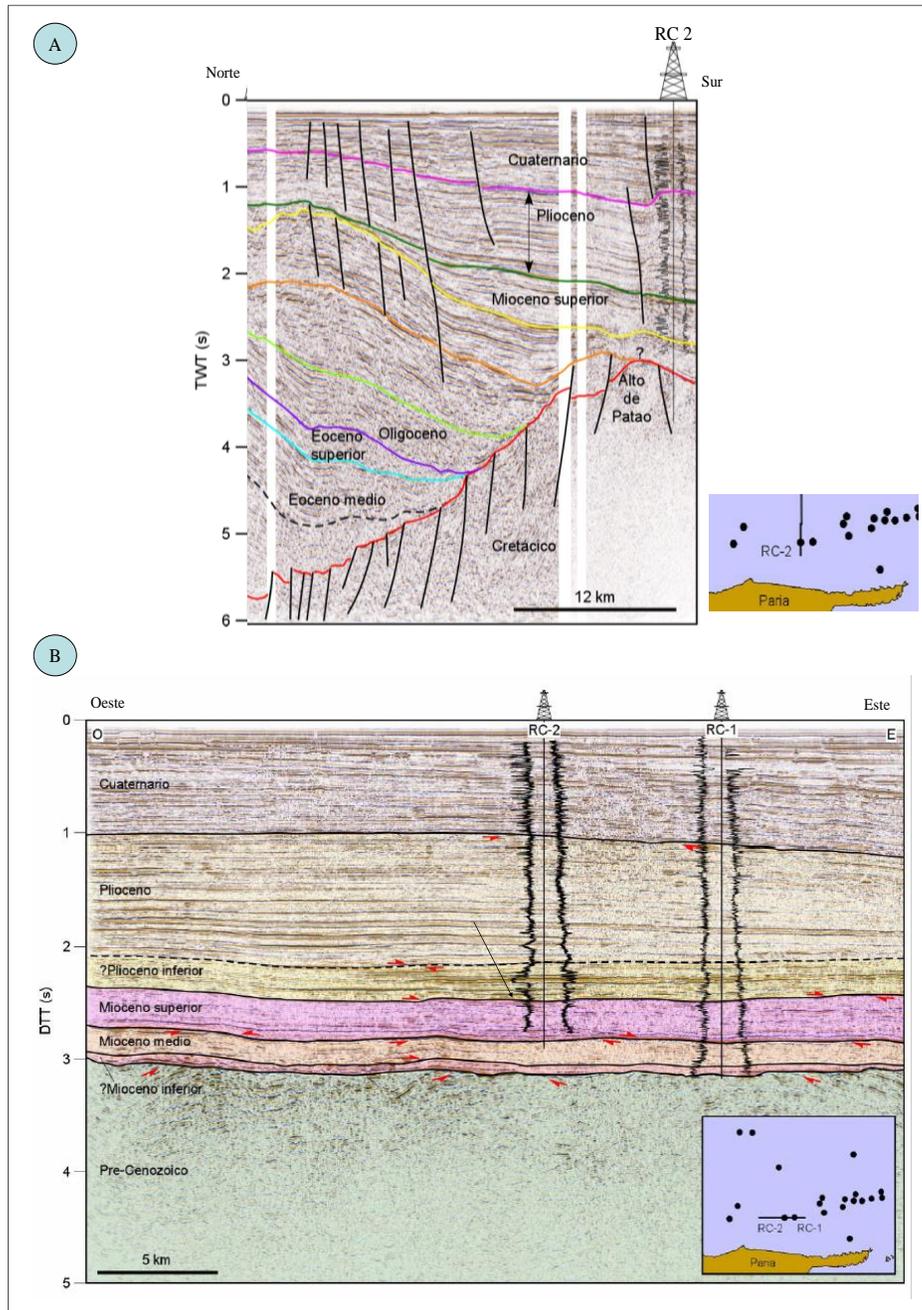


Figura 2.6 Secciones sísmicas sector Alto de Patao (Modificado de Pinto, J. 2008).

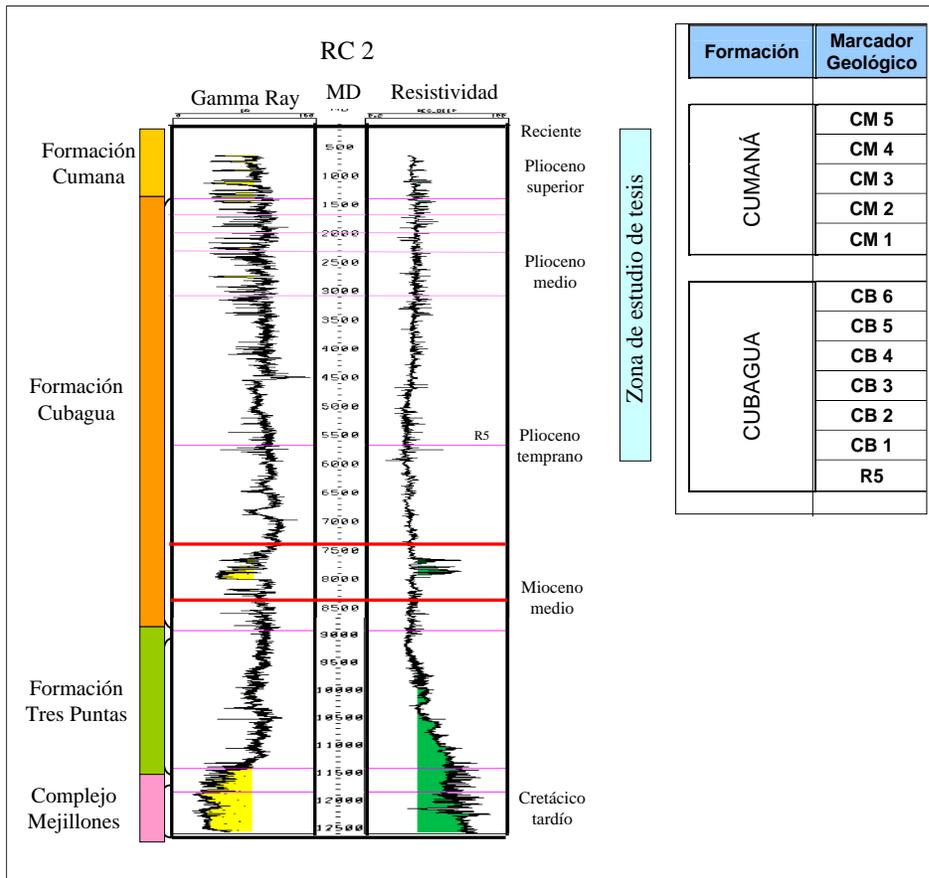


Figura 2.7 Registro tipo con columna estratigráfica, zona de interés de estudio de tesis y marcadores estratigráficos.

A continuación se hace una breve descripción de aspectos importantes de los marcadores geológicos operacionales de base a tope:

1. Los marcadores desde CM 5 hasta CM 2 de la Formación Cumana están asociados a topes de arenas no consolidadas. Las secuencias interpretadas a partir de la información obtenida de los pozos exploratorios, están compuestas por facies

predominantemente arcillosas con material bioclástico, areniscas peri-arrecifales y limolitas.

2. El marcador CM 1 representa el límite entre el Terciario y Cuaternario, correspondiendo a una discordancia al tope del Plioceno superior.
3. Los marcadores CB 6, CB 5 y CB 4 de la Formación Cubagua están asociados a topes de facies carbonáticas. En general, están caracterizados por lutitas, arenas y facies carbonáticas, encontrándose de igual manera facies arrecifales (corales).
4. El marcador CB 2 corresponde al tope del Plioceno medio. Está compuesto por lutitas, areniscas y limolitas, además, facies de arrecifes de coral, moluscos y material bioclástico observados en los pozos exploratorios.
5. El marcador CB 1 está caracterizado por facies predominantemente lutíticas y se asocia al tope del Plioceno inferior.
6. El marcador R5 es considerado un sello regional, caracterizado principalmente por lutitas. Este es posible observarlo en toda el área del Alto de Patao.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Lagoven S.A, (1984) fue la primera organización que dedicó esfuerzos en el conocimiento geológico del Norte de Paria, específicamente en el Alto Estructural de Patao durante un período de 1978 a 1982. Utilizando sísmica 2D se perforan 20 pozos, de los cuales 14 tuvieron éxito y se definió la extensión de los descubrimientos de gas de los campos Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón. De aquí surgen los primeros modelos geológicos que se fundamentan en la interpretación estructural, estratigráfica y sedimentológica de la zona. Es importante resaltar que los mayores esfuerzos de caracterización se dedicaron a los niveles estratigráficos profundos, quedando una brecha de caracterización en los niveles someros de la Formación Cumana.

Carnevali *et al.*, (2000) como parte del Proyecto de Exploración por Hidrocarburo Costa Afuera de Venezuela, analizan el potencial de hidrocarburos en el subsuelo de la Plataforma Continental de Venezuela, donde se menciona a la Cuenca Carúpano y se evalúa el potencial hidrocarburífero de la zona. Para ello se estudió el sistema petrolífero con base en el análisis estructural, estratigráfico, sedimentológico, petrofísico integrado con datos dinámicos y geoquímicos de las formaciones someras y profundas. A partir de este estudio se retoma el interés del estado venezolano es las estrategias de explotación de los campos asociados al Alto Estructural de Patao.

PDVSA-Beicip Franlab, (2008) realizaron una interpretación estructural del sistema tectónico en el área de Mariscal Sucre que involucra los campos Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón. En este estudio se aplicó un enfoque sísmoestratigráfico con base en sísmica 3D y los datos de los pozos de los campos mencionados, interpretando varios horizontes sísmicos y fallas. Este estudio sísmico estructural se desarrolló en los intervalos estratigráficos profundos que se encuentra infrayacente al marcador estratigráfico R5, es decir donde se encuentran los yacimientos probados. Además del nivel de caracterización estructural obtenido también es relevante la metodología de interpretación que considera criterios de interpretación sísmoestratigráfica, atributos sísmicos estructurales y caracterización sísmica aplicada a la identificación de puntos brillantes (*bright spot*).

Pinto, J. (2008) desarrolló un análisis sísmoestratigráfico para el Cenozoico de la Cuenca de Carúpano y donde se hace mención a la interpretación estructural y estratigráfica de los campos Río Caribe, Mejillones y Patao. El modelo se basó en sísmica 2D y datos de pozos. Las interpretaciones de terminaciones sísmicas sugieren la ocurrencia de ocho discordancias prominentes que separan siete unidades correlacionadas con el Eoceno, Oligoceno, Mioceno inferior, Mioceno medio, Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario. Internamente, los reflectores de estas unidades definen ocho facies sísmicas principales: caótica, paralela, sigmoide, divergente, ropaje, transparente e imbricada. La integración con información sedimentológica bioestratigráfica, sugiere que la mayor parte de los yacimientos en la cuenca están asociados con ambientes marino profundo. Los estilos de entrapamiento son variables, incluyendo estratigráficos, estructurales y combinados.

PDVSA-Exploración, (2013) evaluaron la Geología y Potencial Hidrocarburífero del Norte de Paria. Este trabajo consideró la evaluación técnico económicamente y jerarquización de 6 oportunidades exploratorias visualizadas en el Proyecto de Exploración por Hidrocarburo Costa Afuera de Venezuela con expectativas asociadas en el orden 1.906,10 MMBL de petróleo y 19.048,63 MMMPC de gas. Para lo cual realizó un modelo geológico regional para las secuencias estratigráficas depositadas en los campo Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón. Esto implica la interpretación sísmico-estructural de datos sísmicos 3D integrado con datos de pozo identificando horizontes sísmicos regionales someros y profundos. Además de la interpretación del marco estratigráfico y sedimentológico utilizando estratigrafía secuencial con la identificación de sistemas encadenados.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Métodos sísmicos

Se sabe que los métodos sísmicos son uno de los más importantes e interesantes de los métodos geofísicos, además es uno de los más usados en la búsqueda y explotación de hidrocarburos. Los métodos sísmicos constituyen el conjunto de pruebas que se realizan en un terreno para la determinación de la profundidad y posición de los estratos, así como estructuras geológicas, relativamente próximas a la superficie de la tierra. Consiste en la generación de energías acústicas producidas por una fuente, que se propaga a través de las diferentes capas del subsuelo, para luego realizar una medición del tiempo transcurrido durante su propagación, es decir, desde que la onda es generada por la fuente hasta que es captada por los sensores en la superficie.

El objetivo de los métodos sísmicos es pues, el reconstruir la disposición de las rocas en el subsuelo (estructura) y sus características físicas (litología, porosidad, fluidos, etc.) a partir de la información grabada, esto es, los tiempos de recorrido, las amplitudes, cambios, de fase y frecuencia, etc.

Existen dos métodos basados en este principio como son: la sísmica de reflexión y la sísmica de refracción (Landmark, 2004).

3.2.1.1 Sísmica de reflexión

Cuando una fuente emite una señal a través del subsuelo parte de esta energía es reflejada en la interfaz de cada capa, volviendo a la superficie donde es captada por un receptor, el cual registra dicha señal como ondas con amplitudes que varían con el tiempo y que a través del procesamiento son convertidas en una imagen de reflectores. Dicha imagen no puede ser convertida directamente de tiempo a profundidad a menos que se conozca con certeza la velocidad de propagación en cada una de las capas.

Es el único método de prospección que permite la recolección de datos detallados del subsuelo, para el estudio y reconstrucción de las estructuras geológicas económicamente interesantes para el sistema petrolero, que se encuentran a grandes profundidades, tales como yacimientos de hidrocarburos o procesos sedimentarios que indiquen la existencia de rocas yacimiento (Landmark, 2004).

3.2.1.2 Sísmica de refracción

El método de refracción está basado en la refracción de las ondas sísmicas en las capas del subsuelo, para la caracterización de las condiciones geológicas del mismo. Este método consiste en que las ondas sísmicas varían su velocidad de propagación dependiendo del tipo de roca que conforman el medio a través del cual viajan, es por esto que, en el límite entre diferentes litologías, dicha onda sufre una refracción, permitiendo así, la determinación de los tipos de suelos y la profundidad aproximada de los diferentes estratos (Landmark, 2004).

3.2.1.3 Interpretación sísmica

Es un método de reflexión sísmica empleado en la superficie de la tierra para representar en imágenes la estructura rocosa y calcular los tipos de rocas que pueden formar el subsuelo de los reservorios de petróleo y gas natural. El método de reflexión sísmica está fundamenta en la medición del tiempo que se toma las ondas de sonido en desplazarse desde el origen sísmico (por ejemplo, explosión provocada por el hombre) a través de la tierra hasta las capas de las rocas que reflejan el sonido de vuelta al dispositivo de grabación (Brown, A., 2004).

1. Continuidad: Propiedad por la cual un evento o pulso sísmico puede ser reconocido en trazas sucesivas. Estos pulsos repetidos crean alineaciones que dan características de continuidad a lo largo de las secciones.
2. Correlación: Es puramente un proceso de reconocimiento de patrones. El patrón puede ser un pulso simple, el cual se distingue por su amplitud y frecuencia o un grupo de reflexiones que conformen un paquete. La correlación se utiliza principalmente para relacionar reflexiones de una línea a otra.

Los datos sísmicos no identifican directamente la edad o el tipo de roca. Para esto es necesario combinar las reflexiones sísmicas con los datos obtenidos de los pozos perforados y el reconocimiento de las rocas que pueden ser vistas en la superficie durante la perforación de los pozos.

3.2.1.4 Impedancia acústica

La impedancia acústica es la resistencia que oponen los estratos del subsuelo a las ondas que se propagan a través de los mismos. Está definida como el producto entre la densidad del medio de propagación y la velocidad de la onda P.

$$AI = \rho * Vp \quad (3.1)$$

Donde:

AI: Impedancia acústica

ρ : Densidad del medio

Vp: Velocidad promedio

La importancia de la impedancia acústica es que permite la determinación de los coeficientes de reflexión, los cuales describen la amplitud (o la intensidad) de una onda reflejada respecto a la onda incidente, en la interfaz de materiales que poseen diferentes impedancias acústicas (Taner, M.T, 2001).

3.2.1.5 Ondícula sísmica

La ondícula sísmica es una herramienta matemática de aplicación en el tratamiento de la señales. Se define como un pulso que consiste usualmente de pocos ciclos y representa la forma de la reflexión en el dominio del tiempo de un reflector positivo en el caso de incidencia normal. La ondícula depende directamente de dos parámetros: frecuencia y tiempo y está definida por su espectro de amplitud y su espectro de fase (amplitud vs frecuencia y fase vs frecuencia, respectivamente). Entre las ondículas más usadas están: la ondícula Ricker o fase cero y la ondícula fase mínima (Brown, A., 2004).

3.2.1.6 Ondícula Ricker o fase cero

La ondícula sísmica es un pulso unidimensional que representa la forma de la reflexión en el dominio del tiempo de un reflector positivo en el caso de la incidencia normal. La ondícula está definida por su espectro de amplitud (amplitud vs frecuencia) y su espectro de fase (fase vs frecuencia) (Brown, A., 2004).

La ondícula de Ricker o de fase cero es una ondícula simétrica y como su nombre lo indica, es una ondícula fase cero, es decir, que su pico está ubicado en el cero. Es la segunda derivada normalizada de la función gaussiana y es la más usada en los datos de los modelos sísmicos. (Figura 2.8).

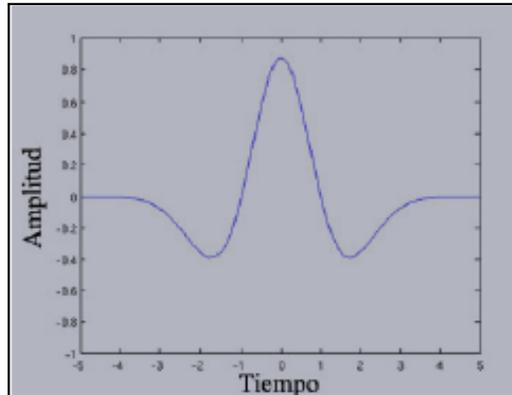


Figura 3.1 Ondícula Ricker o fase cero. Tomado de (Brown, A., 2004).

3.2.1.7 Ondícula fase mínima

Son generadas en su mayoría por explosivos y concentra su energía al comienzo y después se atenúa, pero a diferencia de la fase cero no es simétrica (Brown, A., 2004).

3.2.1.8 Sísmograma sintético

Los sísmogramas sintéticos junto con otras herramientas de pozo permiten determinar la relación existente entre la litoestratigrafía de un sondeo y su respuesta sísmica, hasta el punto de poder identificar en una traza sintética el origen y el significado geológico de las reflexiones que la forman. Un sísmograma sintético está formado por un conjunto de trazas sintéticas que son comparables con secciones sísmicas procesadas, para la identificación de marcadores sísmicos y la calibración de superficies o de eventos sísmicos en tiempo y amplitud (Landmark, 2004).

La calidad de un sísmograma sintético será mejor cuanto más definidas sean las variaciones en las velocidades y más distanciadas se encuentren en tiempo, mientras

que de forma opuesta, las relaciones entre interferencia, que es un proceso que altera, modifica o destruye una onda durante su trayecto en el medio en que se propaga, y la ondícula no permitirán un registro claro. De manera que se puede asumir que la calidad del sismograma también depende en su mayoría de las características geológicas del estrato estudiado, es decir, que aquellos tránsitos de carácter gradual pasan desapercibidos o quedan poco marcados en contraposición con los cambios geológicos netos (Landmark, 2004).

3.2.1.9 Resolución sísmica

La resolución sísmica de un registro sísmico puede definirse como la menor distancia vertical (espesor) entre dos litológicas que producen dos reflexiones discretas, las cuales pueden separarse visualmente. Esta definición se traduce, en el menor espesor para el cual el tiempo de tránsito de la onda proporciona información acerca de los espesores de los estratos en el subsuelo (Landmark, 2004).

El límite de resolución depende del mismo espesor que la sísmica puede ver, expresado cuantitativamente en el parámetro $\lambda/4$ y está relacionada con otros dos parámetros: la velocidad de propagación (componente geológico) y el contenido de frecuencia o ancho de banda de la ondícula (componente sísmico) (Landmark, 2004).

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad (3.2)$$

Donde:

λ = Longitud de onda.

V= Velocidad intervállica de los estratos.

F=Frecuencia.

3.2.1.10 Velocidad sísmica

La velocidad es una cantidad definida como la rapidez de propagación de una onda sísmica. La velocidad con que se propagan las ondas en un medio depende de las constantes elásticas, de la densidad y de algunas condiciones ambientales. Desde el punto de vista práctico, la herramienta más útil para medir este tipo de velocidades en las rocas del subsuelo es el perfil sísmico. En sísmica de reflexión, la velocidad es el parámetro que nos permite convertir nuestras observaciones en tiempo y amplitud a profundidades y parámetros físicos. La velocidad sísmica se clasifica en (Regueiro, J. 1997):

1. Velocidad intrínseca: es una propiedad física de materiales puros como densidad, permeabilidad y porosidad.
2. Velocidad interválica: está asociada con las litologías, definida como la rapidez con la que se propagan las ondas dentro de estratos o formaciones definidas y es calculada con el registro sísmico.
3. Velocidad promedio: es el promedio de las velocidades interválicas, medidos desde la superficie, de varias formaciones o litologías. Estas velocidades se obtienen de los registros conocidos como *checkshots* y es la que se utiliza para llevar los tiempos de reflexión a profundidad.
4. Velocidad de apilamiento: es la velocidad obtenida en la corrección por sobre corrimiento hiperbólico en las trazas de reflexión.
5. Velocidad aparente: es la velocidad en función del ángulo que conforma el frente de onda con la superficie sobre la que se encuentran los detectores.

6. Velocidad Raíz Cuadrática Media (RMS): esta velocidad, puramente matemática, se obtiene de un promedio pesado de los cuadrados de las velocidades interválicas, y tiene aplicación cuando tratamos de estimar velocidades promedio a partir de las velocidades del procesamiento.

3.2.1.11 Atributos sísmicos

Los atributos sísmicos se definen como cualquier información que pueda ser extraída de un levantamiento sísmico, o como el resultado del uso de diversas operaciones matemáticas aplicadas a las trazas sísmicas, lo cual no implica que todos los atributos tengan una explicación física. Pueden estar asociados a cambios estructurales y estratigráficos.

En el proceso exploratorio, durante la interpretación, se pueden desarrollar nuevas hipótesis sobre modelos geológicos o simplemente requerir la verificación de alguno ya existente; es por ello que, los atributos actúan como herramientas que brindan una guía al interprete para observar el dato desde puntos de vista diferentes asociando la respuesta física- matemática del atributo con características estratigráficas, geológicas, petrofísicas y geomorfológicas, de manera que, se pueda confirmar o desechar las hipótesis (Taner, M.T., 2001).

3.2.1.12 Descripción de algunos atributos sísmicos

➤ Amplitud instantánea o fuerza de reflexión: La fuerza de reflexión arroja información sobre los contrastes de impedancia. Por esto, a través del estudio de los cambios de reflexión, se puede tener idea sobre los cambios litológicos importantes, discontinuidades y límites asociados a cambios significativos del nivel del mar o

ambientes depositacionales. Cambios laterales muy marcados pueden estar asociados a fallamientos o a la presencia de hidrocarburos. Este último factor se ejemplifica a través de las grandes amplitudes asociadas a grandes acumulaciones de gas conocidas como puntos brillantes o “*Bright Spots*” (Taner, M.T., 2001).

➤ Fase instantánea: Este atributo es importante, puesto que la fase no depende de la fuerza de reflexión, lo que hace con frecuencia que los eventos débilmente apreciables sean identificables. Con mapas de fases se hace efectivo el reconocimiento de discontinuidades, fallas, acuñaientos y angularidades. A nivel de yacimiento, la fase instantánea puede usarse para identificar reversiones de fases las cuales podrían señalar el contenido de gas (Taner, M.T., 2001).

➤ Frecuencia instantánea: Puede proveer información acerca de la frecuencia característica de los eventos, efectos de absorción, fracturamientos y espesores depositacionales. La superposición de reflexiones individuales pueden llegar a producir un modelo de frecuencia que caracteriza la reflexión compuesta, y su carácter cambiara gradualmente, así como la litología y el espesor de la secuencia de estratos. Los acuñaientos y bordes de interfaz de fluidos (agua - petróleo), tienden a cambiar la frecuencia instantánea de manera muy rápida. Un cambio de frecuencias bajas se observa comúnmente en reflexiones de reflectores con gas, puesto que las acumulaciones de hidrocarburos pesados tienden a atenuar las altas frecuencias (Taner, M.T., 2001).

➤ Respuesta de fase: Es el promedio pesado de fase instantánea y proporciona un valor suavizado de la fase que exhibe amplitudes características (Taner, M.T., 2001).

➤ Respuesta de frecuencia: Este atributo es básicamente el promedio de la frecuencia instantánea, en donde las amplitudes de frecuencias son promediadas a lo

largo de la traza. Este atributo se emplea para estudiar estructuras, estratigrafías y propiedades de yacimiento (Taner, M.T., 2001).

➤ Coseno de las fases: Consiste en aplicar la función coseno a la fase instantánea y es útil en la delimitación de caracteres estructurales y estratigráficos (Taner, M.T., 2001).

➤ Polaridad aparente: Es el signo de la traza sísmica cuando la reflexión tiene un máximo o un mínimo, suponiendo un reflector simple y una ondícula de fase cero. La polaridad refleja fácilmente el signo del coeficiente de reflexión y en consecuencia interviene en la identificación de factores que interfieren justamente con ese cambio de signo, como las litologías y las discordancias. Este atributo permite igualmente detectar acumulaciones de gas, puesto que la impedancia acústica de estas es menor en zonas circundantes, por lo que muestran polaridad negativa para las reflexiones al tope y positivas para las reflexiones en interfaces gas petróleo y agua gas (Taner, M.T., 2001).

➤ Magnitud de la amplitud sísmica: Representa el valor absoluto integrado de la amplitud sísmica. Es el total de la energía de reflexión de una traza en una ventana de tiempo y su valor es siempre positivo. Se utiliza para detectar fallas sutiles y canales enterrados así como para identificar puntos brillantes (Taner, M.T., 2001).

➤ Coherencia: Coherencia, continuidad, semblanza y covarianza son de carácter similar, buscan en convertir un volumen de continuidad como lo son las reflexiones normales en un volumen de discontinuidad, acentuando fallas y otros límites. Como estos atributos no requieren de la entrada de horizontes interpretados se encuentran libres de la influencia del intérprete. Estos atributos operan dentro de una ventana de tiempo y usa una variedad de aproximaciones matemáticas similares a la correlación (Taner, M.T., 2001).

➤ Angulo (Azimut): El mapa de ángulo está asociado al mapa de buzamiento, pues este muestra la dirección de máximo buzamiento. Este mapa es construido comparando cada muestra del horizonte con dos muestras adyacentes en dirección ortogonal. Un plano es ajustado a través de los tres puntos. El plano tiene la dirección de los buzamientos en grados (Taner, M.T., 2001).

➤ Buzamiento-Angulo (DipAzimut): Este mapa combina los valores del buzamiento con los del ángulo para mostrar aspectos de ambos al mismo tiempo. Este tipo de mapa proporciona una técnica para maximizar la efectividad de un solo mapa estructural. Su gran utilidad se basa en que haciendo estos mapas por separado las fallas pueden o no aparecer reflejadas; esto dependerá de la relación entre buzamiento y ángulo de la falla y los horizontes (Taner, M.T., 2001).

➤ Detección de Bordes (Edge Detection): La detección de bordes resalta las discontinuidades en una imagen. Detecta las diferencias de buzamientos a través de un horizonte usando un algoritmo diferente al que se usa para calcular los mapas de buzamiento y ángulo. Envuelve una comparación matemática de puntos que se encuentran alrededor de un punto muestra en una imagen original. Muchos algoritmos han sido desarrollados con este fin.

La comparación de bordes de SeisWorks compara conjuntos de muestras en cualquiera de los lados del punto, y lo muestra con lo que se conoce como detección de bordes o una máscara de 3x3 (tres muestras hacia cualquier lado del punto en ambas direcciones) (Taner, M.T., 2001).

3.2.2 Definición de términos básicos

3.2.2.1 *Cross-line*

Es una línea sísmica perpendicular a la dirección de adquisición de un levantamiento sísmico 3D (Landmark, 2004).

3.2.2.2 Falla

Fractura en un cuerpo rocoso causado por una ruptura, a lo largo de la cual se observa que han ocurrido desplazamientos relativos entre los bloques.

3.2.2.3 Formación

Unidad litoestratigráfica formal fundamental de rango intermedio, que se encuentra constituida por estratos de rocas sedimentarias, ígneas intrusivas o extrusivas, o rocas metamórficas, o asociaciones de éstas.

3.2.2.4 Frecuencia

Es el número de longitudes de onda completas que pasan por un punto dado y en un tiempo específico. La unidad es el Hz. (un hertzio es un ciclo por segundo). La frecuencia de una onda periódica está dada por la ecuación 3.3 (Landmark, 2004).

$$F = \frac{1}{T} \quad (3.3)$$

Donde:

F: frecuencia

T: período

3.2.2.5 Geófono

Dispositivo para detectar la llegada de ondas sísmicas, que trasforma los movimientos del suelo en voltajes eléctricos.

3.2.2.6 Malla o *grid*

Conjunto de celdas de datos o cuadrículas con características propias de un todo. Con estos archivos de cuadrículas se pueden construir cualquier mapa que se desee (isopropiedades, de espesores, de contornos estructurales, mapas bases, mapas de superficies, entre otros). Además permiten editar contornos, polígonos de fallas, calcular áreas y volúmenes, etcétera (Landmark, 2004).

3.2.2.7 Horizonte

Superficie de suelo que constituye un nivel o plano indicativo de una posición determinada, en una sucesión estratigráfica (Landmark, 2004).

3.2.2.8 Línea (*Inline*)

Es una línea sísmica dentro de un levantamiento 3D paralela a la dirección de adquisición (Landmark, 2004).

3.2.2.9 Marcador geológico

Se consideran como marcadores, niveles con características litológicas o físicas bien individualizadas, los cuales se pueden discernir claramente en perfiles e identificarse en pozos vecinos. Los niveles con estas características tienen gran importancia para las correlaciones, pues abarcan áreas en las que el resto de las litologías pueden variar (Landmark, 2004).

3.2.2.10 Reflector sísmico

Es una interfaz que resalta un contraste en las propiedades geofísicas entre los medios abajo y encima del límite (Landmark, 2004).

3.2.2.11 Tiro de verificación (*CheckShots*)

Es una medición sísmica de pozo que permite convertir datos de tiempos a profundidad. Su funcionamiento se basa en la colocación de un receptor, a una profundidad conocida, dentro del pozo. En la superficie, a una distancia no muy lejana, se ubica una fuente. El receptor capta el tiempo de viaje del primer arribo u onda directa que se propaga desde la fuente.

Teniendo esta información se logra una correlación tiempo- profundidad y se elabora un modelo de velocidad local, conveniente para un amarre sísmica- pozo. También se pueden realizar tiros de prueba colocando el receptor en topes de formaciones específicas dentro del pozo para elaborar un modelo de velocidad más adecuado. Cabe destacar que las pruebas deben hacerse en horizontes sísmicos bien definidos dentro del pozo (Landmark, 2004).

3.2.2.12 Profundidad vertical verdadera (TVD)

Descrito como “True vertical depth” por sus siglas en inglés, representa la distancia vertical medida en pies, desde un punto en la superficie terrestre donde se encuentra la torre de perforación del pozo, hasta el lugar donde se halla la formación objetivo (Landmark, 2004).

3.2.2.13 Profundidad vertical verdadera-nivel del mar (TVDss)

Descrito como “*True measured depth sub-sea*” por sus siglas en inglés, representa la distancia vertical medida en pies, desde el nivel del mar (sin considerar la elevación de la mesa rotaria) hasta el lugar donde se halla la formación objetivo (Landmark, 2004).

3.2.2.13 Profundidad vertical verdadera medida (TMD)

Descrito como “*True measured depth*” por sus siglas en inglés, es la profundidad medida en pies que tiene la longitud total del pozo y se obtiene con la medición de la sarta (tubería de perforación) (Landmark, 2004).

3.2.2.13 Plataformas geotecnológicas

- StratWorks: una aplicación que permite realizar correlaciones geológicas y secciones estratigráficas mediante el módulo de *Correlation*, a través, de registros de pozos.

- Syntool: la aplicación es utilizada para la calibración sísmica-pozo a través de la elaboración de sismogramas sintéticos los cuales permiten comparar la información sísmica con la información de los registros de pozos. También se pueden transformar los datos sísmicos de tiempo a profundidad, así como realizar correlaciones geológicas entre pozos.

- SeisWorks: esta aplicación es utilizada para la interpretación de datos sísmicos 2D y 3D, le permite al usuario interpretar tanto horizontes como estructuras geológicas (fallas, pliegues, discordancias, etcétera). Además almacena datos de levantamientos sísmicos, mapas base, entre otros.

- PostStackPAL: la aplicación se utiliza para crear nuevos volúmenes sísmicos a partir de otros ya existentes. También permite realizar filtros a la sísmica, la resolución de la sísmica, entre otros.

- ZMAPPlus: es una aplicación que le permite al usuario elaborar mapas, calcular volúmenes y áreas, al igual que interpretar y modificar fallas y superficies.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Según Sabino, C. (2002). “La investigación aplicada, depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica, pero se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar.” Por otro lado, Arias, F. (2012) manifiesta que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento

En base a lo planteado esta investigación es de tipo aplicada y descriptiva, ya que a través del análisis de datos sísmicos y la información de registros de pozos, se interpreta sísmica y estructuralmente los horizontes someros pertenecientes al Campo Río Caribe. Y de esta manera tener una visión del comportamiento estructural. Con la visión puesta en resolver una problemática o necesidad y encontrar respuestas a preguntas específicas a través del desarrollo de los objetivos planteados.

4.2 Diseño de la investigación

La investigación documental “Es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otro tipo de documentos”, (Arias, F., 1999).

Esta investigación se clasifica como documental, aplicada y evaluativa, ya que la información se obtuvo a través de consultas bibliográficas, tesis, *papers*, consultas en la red y documentos previos realizados por otros autores que están relacionados con el tema de estudio, además de las actividades que se desarrollan en las aplicaciones geotecnológicas de OpenWork (*SeiswWork*, *SynTool*, *StratWorks*, *PostStack/PAL* y *Z-Map Plus*).

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población

La población o universo se refiere “Al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación”, (Morlés, 1994 en Arias, F., 1999).

En esta investigación la población está asociada a la información de registros convencionales y sísmicos (*CheckShots*) de los pozos RC 1 y RC 2 necesaria para la calibración sísmica pozo, además de la cobertura sísmica de 670 Km² del proyecto sísmico nprc_07g (levantamiento sísmico del año 2007), archivo sísmico de amplitud con migración postprocesos en tiempo (pstk_m_cpp).

4.3.2 Muestra

La muestra “Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación”. La muestra es una parte representativa de la población, (Morlés, 1994 en Arias, F., 1999).

Para esta investigación la muestra fue tomada de la información de los registros de pozos, en el Campo Rio Caribe, en base a los dos pozos RC 1 y RC 2, puesto que eran los que contaban con toda la información y son los únicos representativos en dicho campo y los doce marcadores geológico,(CM5, CM4,CM3, CM2,CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1, R5).

4.4 Flujograma de la metodología de trabajo

La secuencia de trabajo aplicada en este estudio de Tesis de Grado se resume en la Figura 4.1, en donde se discretizan nueve etapas, identificadas en números romanos desde el I al IX en sentido de trabajo horario. Estas etapas están relacionadas con cada objetivo específico. La etapa I consideró una fase exploratoria de la información a efectos de entender la funcionalidad de las herramientas geotecnológicas y naturaleza de los datos del cubo sísmico nprc_07g y registros de pozo (convencionales y sísmicos) necesarios para la etapa de calibración sísmica pozo de la etapa II. Seguimiento de las actividades que sirvieron para estimar el alcance de la resolución vertical y generación de atributos aplicados al ámbito estructural (etapas III y IV). Las etapas V y VI, es en donde se desarrolla las actividades de mayor relevancia, puesto que se interpreta los horizontes y fallas que tiene como producto los diferentes mapas estructurales de los marcadores geológicos (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1) pertenecientes a la Formación Cumana y (CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1, R5). Finalmente, las actividades de conversión tiempo a profundidad que permitió la generación de los mapas en el dominio en profundidad y visualización de la arquitectura estructural (etapas VII, VIII y IX). A continuación se hace una breve descripción de las etapas de trabajo.



Figura 4.1 Secuencia de trabajo. (Modificado de Landmark, 2004).

4.5 Validación de la información geológica correspondiente al área de estudio

En la realización de este proyecto se recopiló la información del área de estudio, revisando los informes técnicos del volumen sísmico (migración post-

apilamiento en tiempo), tiros de verificación (*CheckShot*) y datos de registros convencionales (rayos gamma ray “GR”, resistividad “RT”, sónico compresional “DTC”, densidad “RHOB”, neutrón “NPHI” y calíper “CAL”) y topes estratigráficos. Además de información de tesis de grado y estudios anteriores del área. Los datos disponibles fueron suministrados por la Gerencia de Estudios Integrados Costa Afuera con sede en Puerto La Cruz. Siendo inventariados en la plataforma de *OpenWork* y clasificados en *excel* según su utilidad en las diferentes etapas del proyecto. Logrando delimitar el área de trabajo considerando la data sísmica de aproximadamente 2500 Km² del volumen sísmico nprc_07g a 670 Km² de interpretación sísmica exclusiva de la zona del Campo Río Caribe, se realizó en base de el flujograma de la metodología.

En la Figura 4.2, se muestra una vista en planta del área de cobertura sísmica del volumen sísmico nprc_07g y su relación con la zona de interpretación.

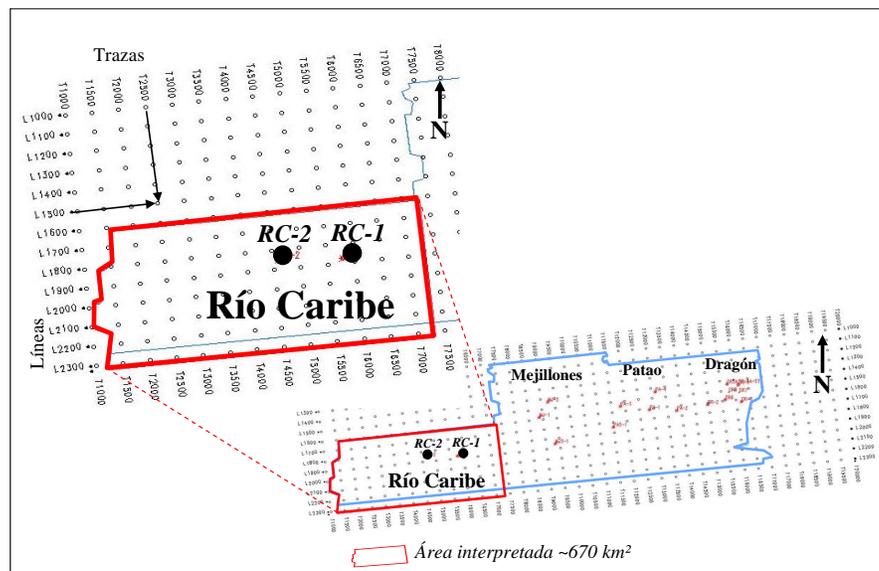


Figura 4.2 Área de estudio y cobertura sísmica 3D

Tanto para la información sísmica, como registros y topes fue necesario trabajar en la plataforma de *OpenWork* en el proyecto MSUCRE_2008, específicamente en los módulos de *SeisWorks*, *Syntool*, *PostStackPAL*, *StratWorks (Correlation)* y *ZMAPPlus*. De manera que fue necesario un proceso de entrenamiento básico de estas aplicaciones geotecnológicas. En la Figura 4.3, se muestra una imagen que ilustra el proceso de trabajo con las aplicaciones geotecnológicas, objetivos y actividades principales asociadas.

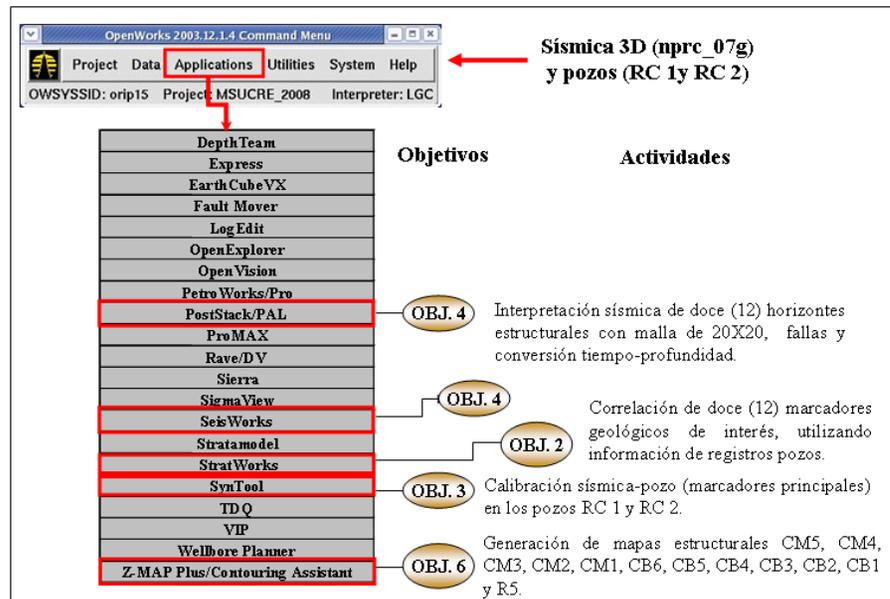


Figura 4.3 Relación entre el plan de trabajo con aplicaciones geotecnológicas según los objetivos de la tesis.

4.6 Correlación a grandes rasgos de las unidades de interés utilizando información de registros de pozos

La estratigrafía que se plantea en la zona de estudio tiene como punto de partida la identificación de los niveles estratigráficos CM5, CM4, CM3, CM2, CM1 de la Formación Cumana y CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5 de la Formación

Cubagua; y con ello tener una idea del comportamiento lateral y vertical de las unidades estratigráficas. Para esto se utilizó como punto de partida la información de *masterlog* de los pozos RC 1 y RC 2 (reportes operacionales litológicos), en donde se hace una descripción litológica de las muestras de canal.

Adicionalmente, se consideró la interpretación sísmica de los horizontes sísmicos someros (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5) del campo vecino Mejillones, el cual se encuentra al Este. Todo esto se integró con la información sísmica del sector en estudio (aprox. 670 km²) del Campo Río Caribe y con los registros de pozos RC 1 y RC 2 en un mallado de correlación estratigráfica controlado por las secciones sísmicas de referencia en dirección Oeste-Este, se procedió a correlacionar los marcadores estratigráficos someros en el intervalo de estudio de tesis del Campo Río Caribe, utilizando el módulo de *StratWorks (Correlation)*.

En la Figura 4.4, se presenta un ejemplo de este proceso de trabajo mediante una sección sísmica que involucra los datos sísmicos del volumen nprc_07g, pozos del Campo Mejillones con los respectivos horizontes sísmicos, así como en el lado izquierdo de la figura (a), la imagen sísmica y pozos del campo Río Caribe y la sección estratigráfica (b).

En general, la particular continuidad lateral de los reflectores sísmicos con su correlativo en marcadores estratigráficos con un comportamiento regional, el cual es el criterio que se utiliza al integrar esta información sísmica. También, se aprecia la relación de los reflectores sísmicos con las superficies estructurales y topes estratigráficos.

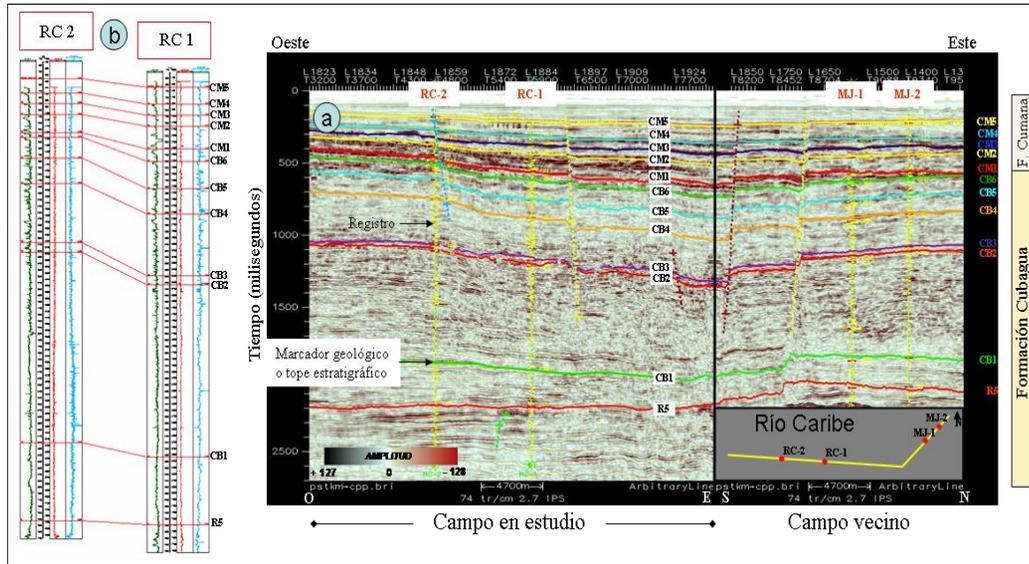


Figura 4.4 Esquema de correlación estratigráfica de marcadores estratigráficos en el Campo Río Caribe, niveles someros.

4.7 Estimación del enlace sísmica- pozo a partir de la generación del sismograma sintético

La Resolución sísmica (R_v) se utilizó para conocer la capacidad que poseen los datos sísmicos en la diferenciación del tope y base de un determinado evento geológico en el subsuelo. La R_v , depende de la frecuencia (f) dominante o central (Hz) y de la velocidad interválica “ V_i ” (pies/seg) estimadas en la sección de interés. De manera que, la R_v se estimó en el intervalo estratigráfico en estudio específicamente entre 200 ms – 1500 ms aproximadamente. Por supuesto estas variables, se definieron a partir de valores promedios global y zonas. La medida fue determinada con base en el razonamiento de Rayleigh, (1842 – 1919): la cuarta parte de la longitud de onda (λ) es equivalente a la resolución vertical de la sísmica, que se muestra en la ecuación 4.1.

$$R = \frac{4}{\lambda} = \frac{V_i}{4f} \quad (4.1)$$

Donde:

R: resolución de la sísmica

λ : longitud de onda

V_i : velocidad intervállica

f: frecuencia

Por consiguiente se pudo establecer la relación entre los eventos geológicos, es decir marcadores estratigráficos (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5) y los sísmicos (reflectores sísmicos). Para lo cual, se procedió a calibrar los datos sísmicos en los pozos RC 1 y RC 2, mediante la generación de sismogramas sintéticos con el programa *Syntool*. El sismograma sintético es una forma de predecir la respuesta sísmica en el subsuelo y consiste en la generación de una traza sísmica unidimensional a lo largo de la trayectoria del pozo que se obtiene mediante la convolución de una ondícula teórica (Ricker, Trapezoidal, Klauder, etc.) o extraída de la sísmica, con el coeficiente de reflexión (Landmark. 2004).

Por lo tanto, se verificó la disponibilidad de registros sónicos, densidad, gamma ray, caliper. Al menos, se requiere el registro sónico y densidad. De manera que en cada pozo, mediante el uso de las velocidades (curva sónico) y las densidades, se generó un registro de impedancia acústica y se calculó la serie reflectividad (a partir de los contrastes). Para obtener el sismograma sintético, se convolucionan la serie de

reflectividad con una ondícula, que puede ser teórica o extraída del volumen sísmico a través de diferentes tipos de filtros. Finalmente se hace variar parámetros como la fase para conseguir un sismograma sintético que mejor correlaciona con las trazas sísmicas vecinas del pozo. Posteriormente una vez obtenido el sismograma sintético se procedió a guardarlo en la base de datos del proyecto.

Es importante mencionar que una buena calibración de los datos de pozo y sísmica, debe considerar la presencia de registros sísmico compresional (DT) y densidad (RHOB) corridos en la sección de interés. También, estos perfiles pueden ser obtenidos a partir de relaciones empíricas. Preferiblemente, la calibración de los pozos ha de realizarse en aquellos pozos con un perfil direccional de carácter vertical (inclinación baja hasta aproximadamente 10°. El pozo debe contener la sección geológica completa sin perturbaciones estructurales (fallas). Finalmente, los pozos deben poseer tiro de verificación sísmica o *CheckShot* (no limitante). Todas estas condiciones se cumplen sin limitaciones en los pozos RC 2 y RC 1.

4.8 Interpretación de las superficies asociadas a las unidades geológicas de interés

Posterior a la calibración sísmica-pozo, los esfuerzos se concentraron en las siguientes variables: primeramente, la generación de volúmenes de atributos sísmicos de coherencia y *edge detection* en la aplicación *PostStack/PAL* necesarios para facilitar la identificación de las fallas. Seguidamente, se procedió a interpretar los diferentes horizontes sísmicos (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5) y fallas. Tanto para la interpretación de los horizontes como fallas se tomó en cuenta el mallado de interpretación de 20X20 en las líneas y trazas sísmicas y a partir de allí todo el proceso de interpretación a partir de las líneas

sísmicas (línea; *inline*: 1850 y la traza sísmica (traza; *crossline*: 4590 cercanas al pozo RC-2) en un proceso de interpretación conjugado con visualización 3D de la información.

El picado de los horizontes se realizó de manera manual y de forma simultánea, utilizando los modos *Tracking point*, *Auto Dip* y *Correlation* de la aplicación *SeisWorks*. De manera que, se creó una base de datos de los horizontes interpretados, a los que se les asignó el nombre del marcador seguido del nombre del intérprete para poder distinguir uno del otro (ejemplo: CM4_CTORRES).

Para cada horizonte se aplicó una metodología de interpretación que toma en cuenta: contrastes de reflexiones sísmicas asociadas a litología estratificada, reflexiones interrumpidas, cambios abruptos de pendientes de las reflexiones sísmicas, reflexiones paralelas o onduladas. En la Figura 4.5, se presenta un ejemplo de la etapa de interpretación de los horizontes y fallas, según la geometría de los reflectores (ondulados, paralelos o interrumpidos) integrado con atributos sísmicos estructurales tipo coherencia y *edge detection*.

En la Figura 4.6, se muestra un ejemplo del proceso de interpretación de los horizontes sísmicos con punto de partida en los pozos RC 1 y RC 2, además de las secciones sísmicas representadas en una línea sísmica, traza sísmica, línea arbitraria (1). A partir de este punto se comenzó el proceso de interpretación en todo el mallado (2) y posterior interpolación, para extender la interpretación por toda el área de interés, suavizar y evitar la presencia de picos o irregularidades en la interpretación (3). La interpolación se realizó utilizando la opción “*Interpolate*” de la aplicación *SeisWorks*.

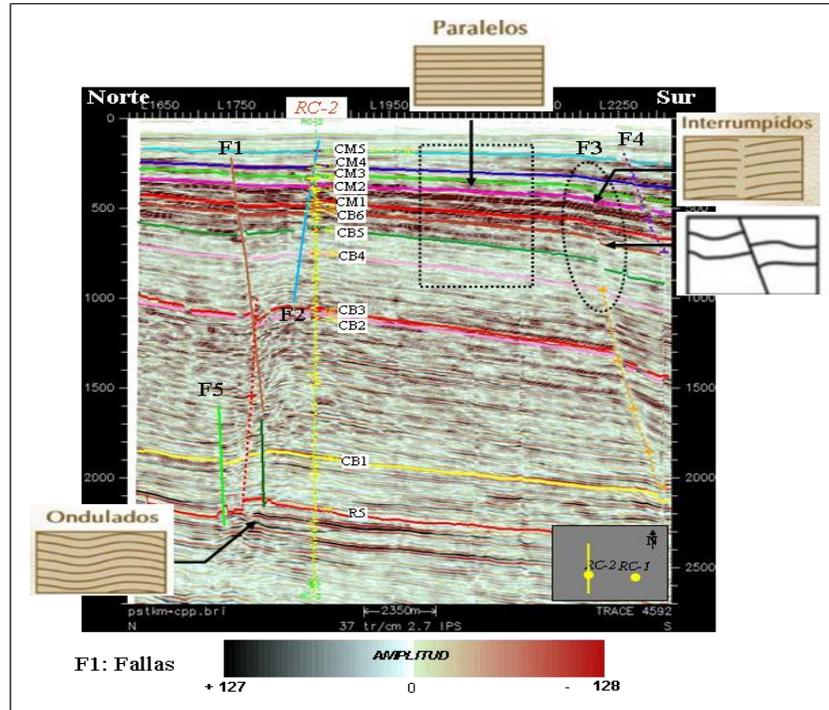


Figura 4.5 Ejemplo de la secuencia del interpretación del horizonte sísmico CM4_CTORRES.

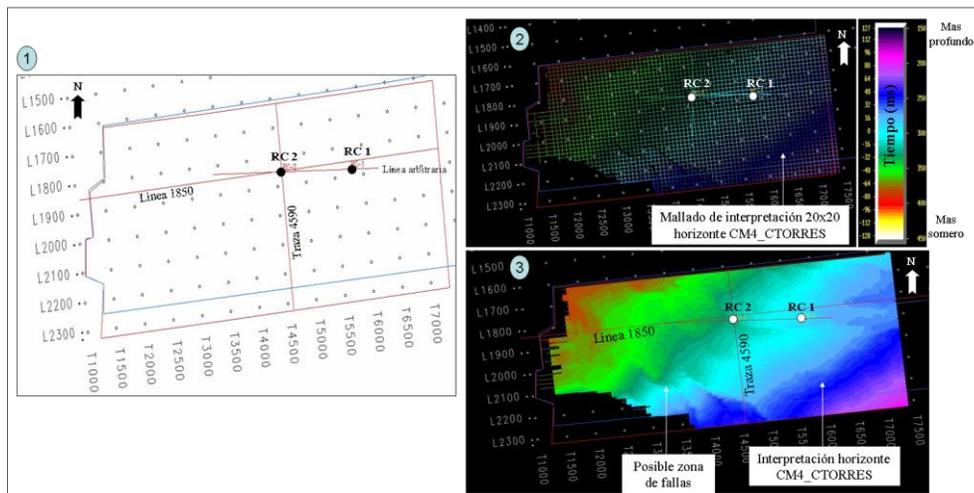


Figura 4.6 Ejemplo de la secuencia del interpretación del horizonte sísmico CM4_CTORRES.

4.9 Determinación de la conversión tiempo - profundidad a través de un modelo de velocidades

El modelo de velocidades y la conversión de tiempo a profundidad se realizó mediante el uso de las aplicaciones *SeisWorks* y *PostStackPal*. Para ello se utilizó el cubo de velocidades de procesamiento (RMS), los horizontes sísmicos interpretados e interpolados (ms), los pozos, y los topes interpretados en los pozos (*picks*). La secuencia de trabajo se explica brevemente a continuación (Figura 4.7):

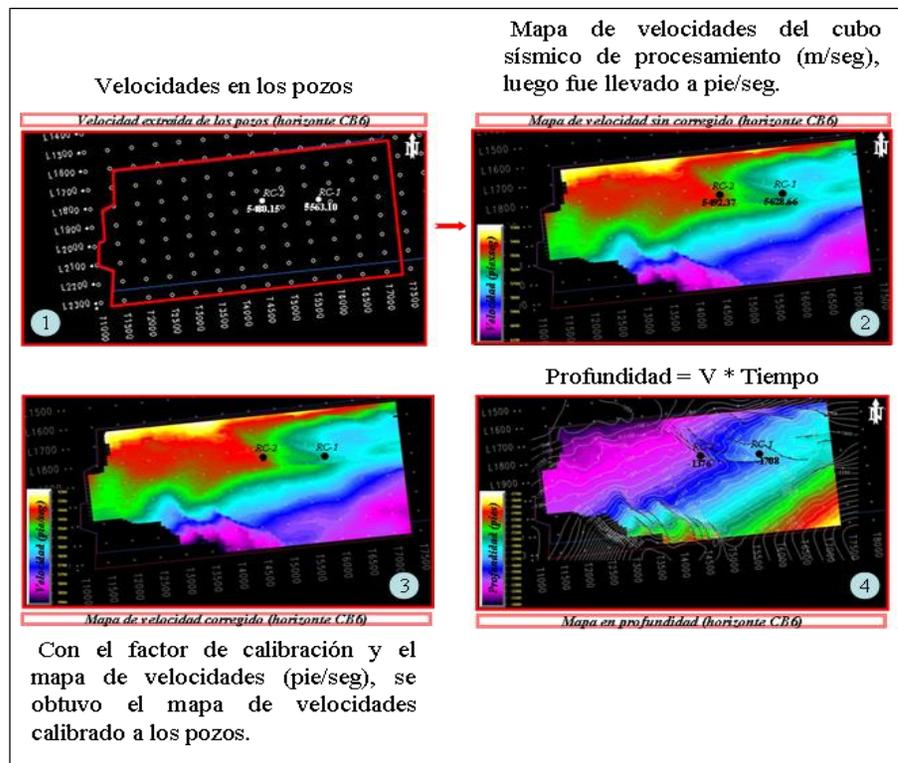
1. Se determinó el tiempo en la intersección del pozo con el horizonte interpolado. Este tiempo debió llevarse a tiempo simple (OWT), ya que se encontraba en tiempo doble (TWT) y a segundos (seg), porque estaba en milisegundos (ms).
2. Se determinó la profundidad del marcador interpretado en el pozo.
3. Posteriormente, se utilizaron las velocidades de procesamiento (RMS) de la sísmica. El volumen se encontraba cargado en la base de datos *OpenWorks* (proyecto sísmico: *nprc_07g*; archivo sísmico: *vel_pstm_rms*). Se generó el mapa de velocidades asociado a cada horizonte sísmico interpretado en la opción *StratAmp de OpenWorks*.
4. Luego se llevó el mapa de velocidades generado en el paso anterior de metros por segundo (m/seg) a pies por segundo (pie/seg), utilizando la opción *Computation Standard de SeisWorks*.
5. Es común encontrar diferencias entre las velocidades del pozo y las velocidades de procesamiento de la sísmica. Generalmente, la velocidad de la sísmica es mayor a la velocidad en el pozo entre un 10-15 %. Para reducir el efecto de esta diferencia es recomendable buscar un factor de calibración que permita ajustar las velocidades de

la sísmica a las velocidades alrededor del pozo y disminuir el error al momento de realizar la conversión de tiempo a profundidad.

6. Una vez obtenido el factor de calibración se multiplica por el mapa de velocidades de la sísmica (pie/seg), mediante el empleo de la opción *Computation Standard de SeisWorks*.

7. Luego con el mapa de velocidades de la sísmica calibrado, se multiplicó por el mapa interpolado en seg. y OWT para obtener el mapa en profundidad.

8. Ya obtenido el mapa en profundidad, se procedió a multiplicar por la constante (-1) para llevar a TVDSS.



4.10 Generacion de mapas de los horizontes interpretados

La realización de los mapas estructurales se realizó en varias fases. Primeramente, se crearon las carpetas digitales tipo *Master File Directory* (MFD) y *Graphyc Files* (ZGF) en la aplicación *Zmap plus*. En estas carpetas o directorios se importó o cargo los datos sísmicos provenientes de la interpretación sísmica realizada en *SeisWorks 3D*, es decir los horizontes sísmicos en profundidad, polígonos de fallas y topes estratigráficos. Una vez importados los datos sísmicos se procedió a realizar una malla o *grid* de los mismos, ajustando la superficie estructural que haya quedado por encima o debajo de los topes estratigráficos (*pointset*) (Figura 4.9). Finalmente, se realizó el ajuste manual de los contornos estructurales considerando el buzamiento de la estructura y presencia de fallas.

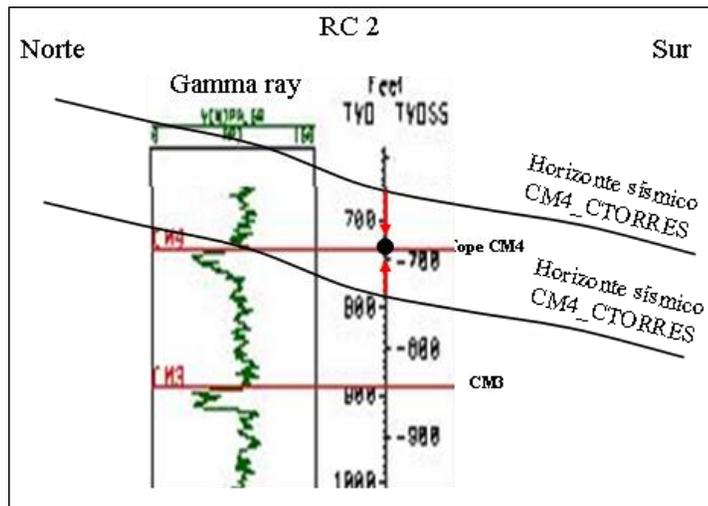


Figura 4.8 Ajuste esquemático del horizonte sísmico CM4_TORRES al tope estratigráfico.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Validación de la información geológica correspondiente al área de estudio

En relación a los datos sísmicos con cobertura en el Campo Río Caribe, se dispone de dos (2) levantamientos sísmicos 3D. El primer levantamiento sísmico adquirido en el año 1991 y reprocesado en el año 1992 con un área de cobertura de 393 Km². El segundo volumen sísmico GO-NPRC-07G-3D-1, se adquirió en el año 2007 como parte de una segunda campaña de adquisición de datos sísmicos 3D cubriendo un área aproximada de 2456 Km² que involucra los campos Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón (Figura 5.1). El levantamiento sísmico fue adquirido por Scan Geofísica C.A., a través de la subcontratista Tricon Geophysics Venezuela C.A quien realizó el procesamiento con migración pre-apilamiento en tiempo (*Pre-Stack Time Migration*).

Los resultados de este volumen sísmico GO-NPRC-07G-3D-1 brindan una mayor continuidad de las reflexiones sísmicas en comparación con las del volumen de datos adquiridos en el año 1991. Además, de un aumento en el ancho de banda de frecuencias, lo cual incide en una mejora significativa de la relación señal-ruido (S/R), es decir mayor señal que presencia de ruido y un incremento relativo en la resolución vertical de los datos (Rv). En general el volumen sísmico nprc_07g, es de buena calidad, presenta buena continuidad lateral de los reflectores en la zona de interés.

También, es importante mencionar que se cuenta con levantamientos sísmicos 2D (líneas sísmicas). Estos levantamientos se realizaron en el periodo de los años 1972 y 1991. La información de líneas sísmicas, se encuentra disponible en la base de datos corporativa de PDVSA y básicamente su utilización se orienta a estudios exploratorios a nivel de cuenca y no fueron considerados en el estudio de tesis de grado.

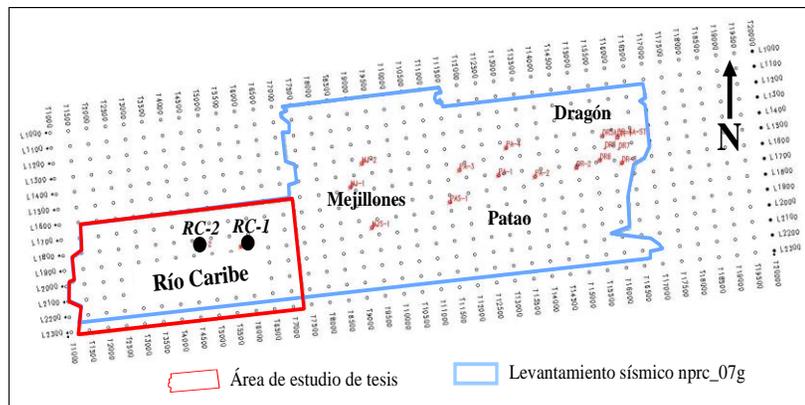


Figura 5.1 Cobertura de información sísmica 3D

En cuanto a los datos de pozos del Campo Río Caribe, como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, se dispone de dos (2) pozos exploratorios, RC 1 y RC 2. Estos pozos fueron perforados con objetivos de producción en los yacimientos profundos, es decir hasta 9550 pies MD y 12600 pies MD. El pozo RC 2 es un pozo de avanzada perforado, evaluado y probado durante el año 1982, alcanzando una profundidad final de 9550 pies MD. Mientras que el RC 1, es el pozo descubridor perforado y evaluado en el año 1981. Estos pozos fueron perfilados con registros convencionales, tipo rayos gamma ray (GR), potencial espontáneo (SP), densidad (NPHI), sínico (DT), cáliper, conductividad, resistividad (LLD) y *Checkshot*. Además, de muestras de canal cada 30 pies.

En la Tabla 5.1, se presenta la distribución de los registros convencionales y el nivel estratigráfico con cobertura. Como se puede notar, al menos se cuenta con los registros principales de densidad y sónico, necesarios para la etapa de calibración sísmica-pozo.

Tabla 5.1 Distribución de registros en los pozos

Pozo	Gamma ray (GR)	Resistividad (LLD)	Neutrón (NPHI)	Densidad (RHOB)	Sonico (DT)	Cobertura registros	Cobertura masterlog	Tiros de verificación (Checkshot)
RC 2	√	√	√	√	√	CM4 hasta R5	CM5 hasta R5	√
RC 1	√	√	√	√	√	CM5 hasta R5		√

5.2 Correlación a grandes rasgos de las unidades de interés utilizando información de registros de pozos

La correlación estratigráfica está controlada con la arquitectura estructural que se interpretó en los horizontes sísmicos en una fase inicial de previsualización, integrado con los registros de pozo e información litológica de los *masterlog*. La sección estratigráfica clave se generó en dirección Oeste-Este, asociada con la sección sísmica Oeste-Este. No se muestran secciones estratigráficas en dirección Norte-Sur puesto que en el Campo Río Caribe no hay pozos que estén perforados en esta dirección. De manera que antes de mostrar la respuesta estratigráfica de las secciones, es necesario hablar de la sección sísmica de referencia, la cual permitió entender la naturaleza estratigráfica en dirección Oeste-Este.

En la Figura 5.2, se muestran una línea arbitraria con orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste, la respuesta paralela de los reflectores sísmicos con una particular

respuesta isópaca entre los pozos RC 2 y RC 1 y ligero aumento de espesor hacia el Este. En general, una respuesta en donde la tectónica no tiene un efecto importante en la conformación del espacio de acomodo de los sedimentos y sedimentación tranquila en aguas someras de la zona litoral en ambiente marino.

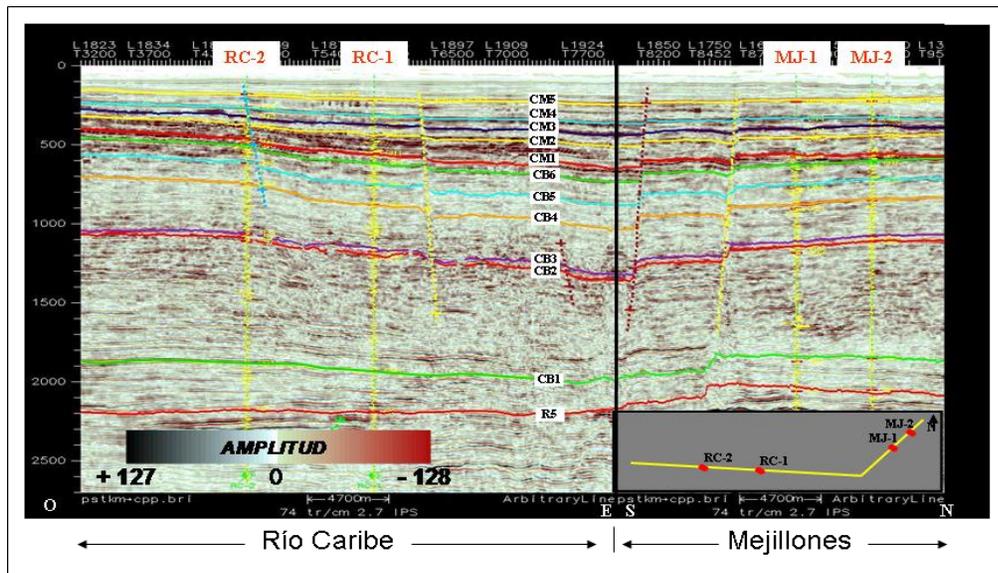


Figura 5.2 Sección sísmica con los pozos de los campos Río Caribe y Mejillones.

Con base a esta idea de la arquitectura estratigráfica definida en la sección sísmica, la respuesta electrográfica en los registros de pozos y la respuesta litológica reflejada en los *masterlog*, se interpretó los marcadores estratigráficos (CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5). El *datum* de referencia que se utilizó para horizontalizar la sección estratigráfica corresponde con el marcador CM5 de la Formación Cumana, el cual responde a caliza arrecifal con banco de moluscos, limolitas y arcillas con material bioclástico. En la Figura 5.3, se observa los marcadores estratigráficos interpretados en el tope del nivel estratigráfico, que en los registros rayos gamma ray (línea color verde, primer *track*) y

conductividad (línea color azul cielo, cuarto *track*) se muestra con deflexión abrupta hacia la izquierda. En general, los marcadores estratigráficos son lateralmente continuos y los espesores se mantienen relativamente homogéneos, sin embargo, en las unidades 7, 8 y 9, se observa un ligero aumento de espesor que se asocia al espacio de acomodo entre los campos Río Caribe y Mejillones. (Apéndice A.1).

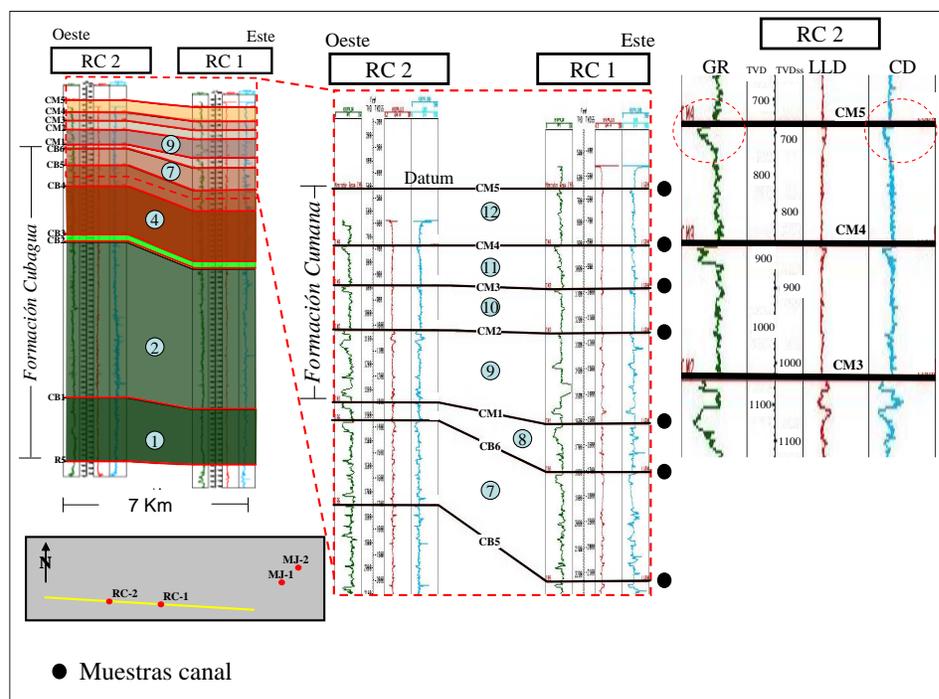


Figura 5.3 Sección estratigráfica Oeste-Este con los pozos RC 2 y RC 1.

5.3 Estimación del enlace sísmica - pozo a partir de la generación del sismograma sintético

En relación a la resolución sísmica se obtuvo para una ventana de trabajo entre 200 a 1500 milisegundos (ms), comportamientos relativamente diferentes de la

calidad de la imagen sísmica. Con una zona de buena y otra zona de moderada calidad de imagen sísmica.

En la Figura 5.4 (a), se muestra la zona de buena calidad de imagen sísmica que se ubicó entre 200 ms y aproximadamente 650 ms, asociada a los marcadores geológicos CM5, CM4, CM3, CM2, CM1 y CB5, en donde se presentan las reflexiones sísmicas paralelas y algunas discontinuidades (se interpretan como fallas) con una alta relación de S/R. Mientras que la zona de moderada calidad de imagen sísmica, se ubicó entre 650 ms hasta 1050 ms donde se encuentran los marcadores CB4 y CB3. Por último, en la zona comprendida entre 1050 ms y 1500 ms correspondiente con los marcadores estratigráficos CB2, CB1 y R5, se tiene una respuesta sísmica con menos relación de S/R, pero aún así resulta en una imagen sísmica en donde se puede interpretar la continuidad de los reflectores sísmicos asociados a estos marcadores estratigráficos.

En cuanto a la frecuencia central (Figura 5.4 b), se obtuvo una respuesta en el intervalo en estudio que varía en un rango de 30 Hz a 80 Hz, en una ventana aproximada de 450 ms (200 ms a 650 ms). La velocidad interválica se estimó en 6400 pies/seg. Con base a los valores de frecuencia, velocidad interválica y ecuación 4.1 (metodología de trabajo) se estimó una resolución vertical entre 30 pies y 35 pies, lo cual es una referencia del grado de alumbramiento de la información sísmica para identificar intervalos permeables con espesor en este rango.

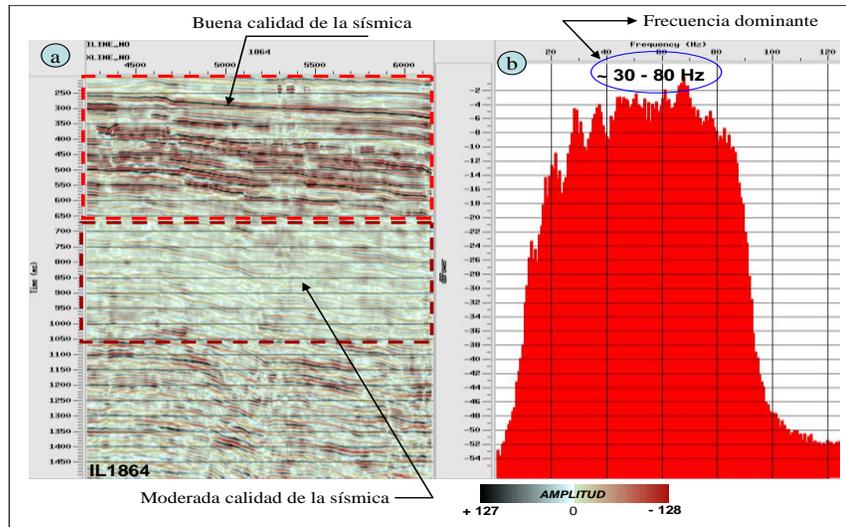


Figura 5.4 Ventana de análisis de la calidad de imagen y frecuencia sísmica.

En la Figura 5.5, se muestra el producto del proceso de calibración sísmica efectuada en el pozo RC 2, es decir el sismograma sintético. Donde se aprecia los topes estratigráficos, además del registro sónico en la pista 2 (curva azul), en la pista 3 el registro NPHI (curva roja), pista 4 con la impedancia acústica (IA), en la pista 6 el sintético obtenido a partir de la convolución con una ondícula teórica tipo Ricker (frecuencia 35 Hz y fase cero) (Figura 5.6). Por último, el panel asociado a los datos sísmicas en formato *wiggle* (volumen nprc_07). La IA es el resultado del producto de la RHOB y DT. Luego se identificaron los reflectores sísmicos asociados a los marcadores geológicos de interés, por medio de los sismogramas sintéticos creados para cada pozo. Una vez realizados los sismogramas sintéticos y ajustados a los topes geológicos de ambos pozos, se asignó una ley de velocidades (TZ), la cual fue visualizada en una sección sísmica para chequear los resultados (Figura 5.7). De ser necesario se ajustaron los datos sísmicos a los datos de pozos (ajuste en tiempo “*shift* o rotación”).

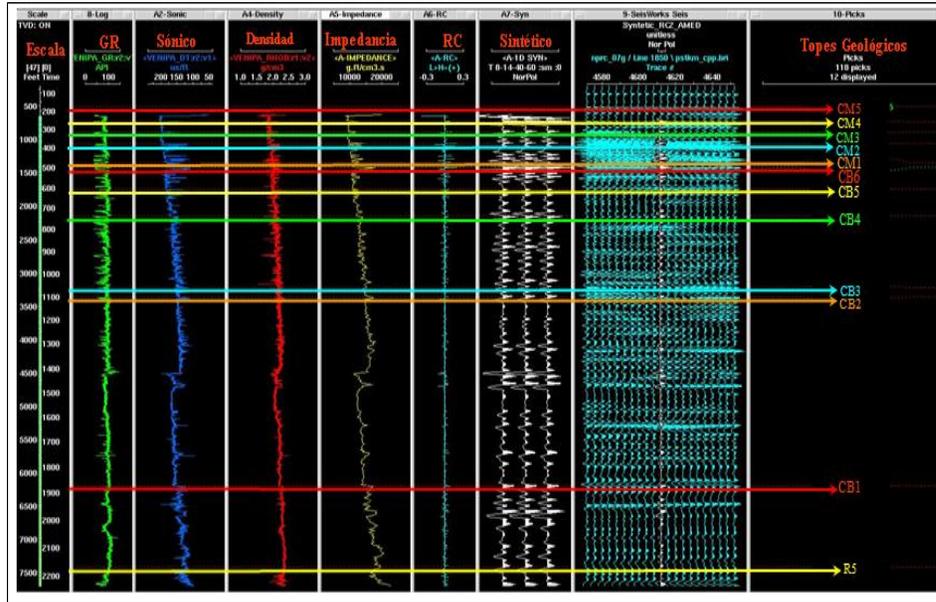


Figura 5.5 Sismograma sintético del pozo RC 2

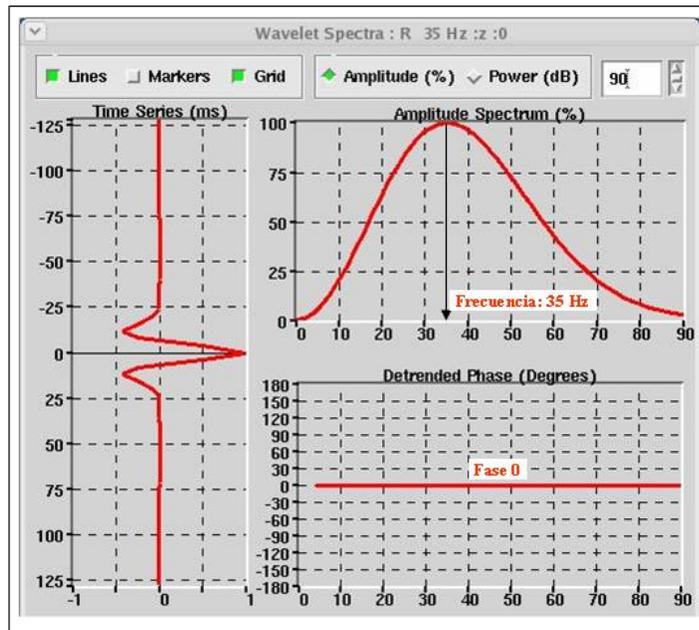


Figura 5.6 Sismograma sintético del pozo RC 2

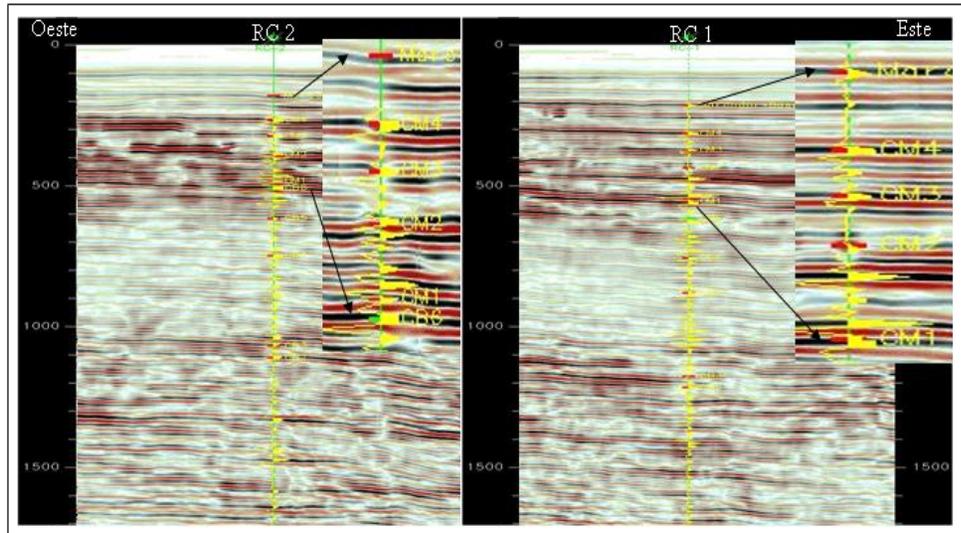


Figura 5.7 Representatividad de la ley de velocidades generada en los pozos RC 2 y RC 1.

5.4 Interpretación de las superficies asociadas a las unidades geológicas de interés

Posterior a la calibración sísmica, se interpretaron los horizontes CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5, así como el sistema de falla. Logrando conceptualizar el marco estructural del área en intervalo estratigráfico de estudio con base en el mallado de interpretación que sirvió de referencia para la generación de los mapas estructurales en el dominio tiempo (ms). En la Figura 5.8 y Figura 5.9, se presenta una muestra de ejemplo con unas sección sísmica en dirección Norte-Sur y Oeste-Este que pasa por el pozo RC 2 (ver mallado de interpretación). En estas figuras se plasma el sismograma sintético y los diferentes horizontes interpretados en líneas continuas con diferentes colores. Cada línea con color representa un reflector sísmico interpretado y asociado a cada marcador geológico

con una respuesta asociada a una estructura con bajo buzamiento en un sistema extensivo donde dominan estructuras por efecto gravitacional.

Como complemento a la interpretación de las fallas, se muestra en la Figura 5.10 y Figura 5.11, los mapas de semblanza de los horizontes sísmicos CM3 y CB6. Así como sectores del cubo de amplitud sísmica que ratifica la representatividad del atributo estructural. Las fallas interpretadas en las secciones sísmicas y atributos se aprecian claramente por la discontinuidad y contraste de amplitud (alineaciones estructurales). Estas fallas son de tipo normal en echelón controladas por la estructura principal del Alto de Patao que se encuentra a mayor profundidad. Estas fallas se ubican tanto en la zona al Sur de los pozos RC 2 y RC 1 y Norte con una diferencia vertical variable entre 10 pies y 300 pies. Dando lugar a estructuras tipo graben en la zona Norte y Sur (Apéndice B.1, Apéndice B.2 y Apéndice B.3).

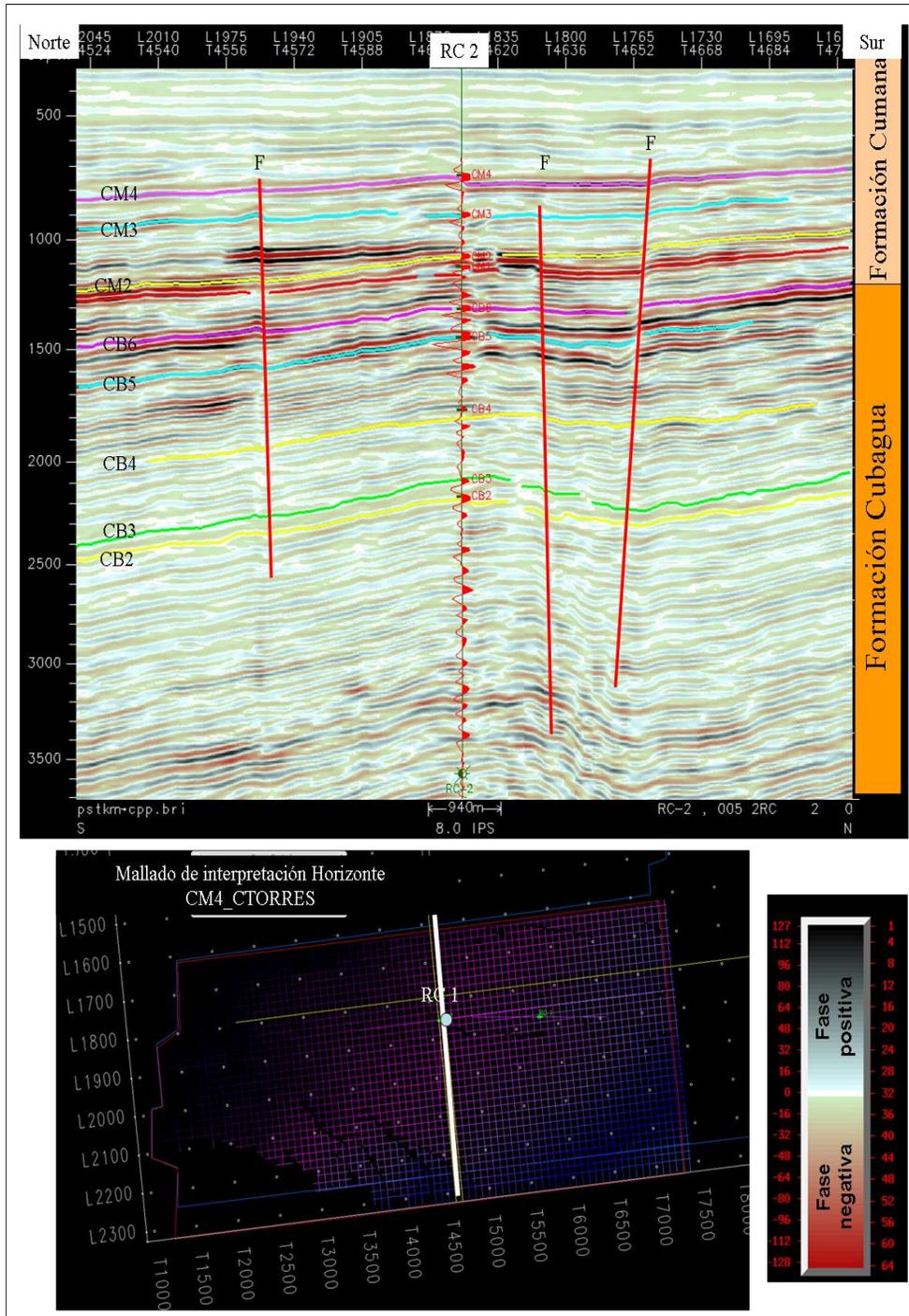


Figura 5.8 Interpretación de horizontes y fallas Norte-Sur

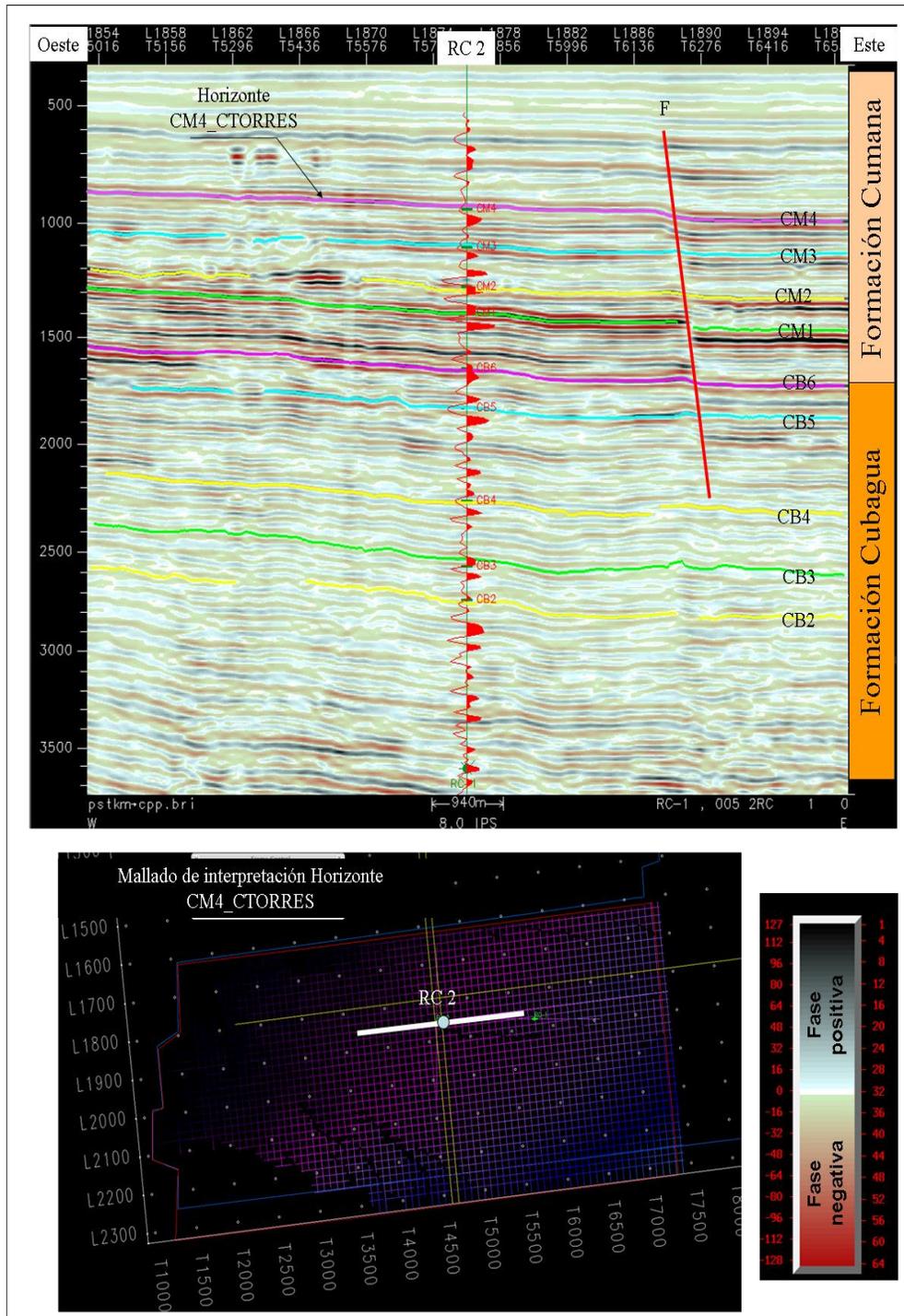


Figura 5.9 Interpretación de horizontes y fallas Oeste-Este.

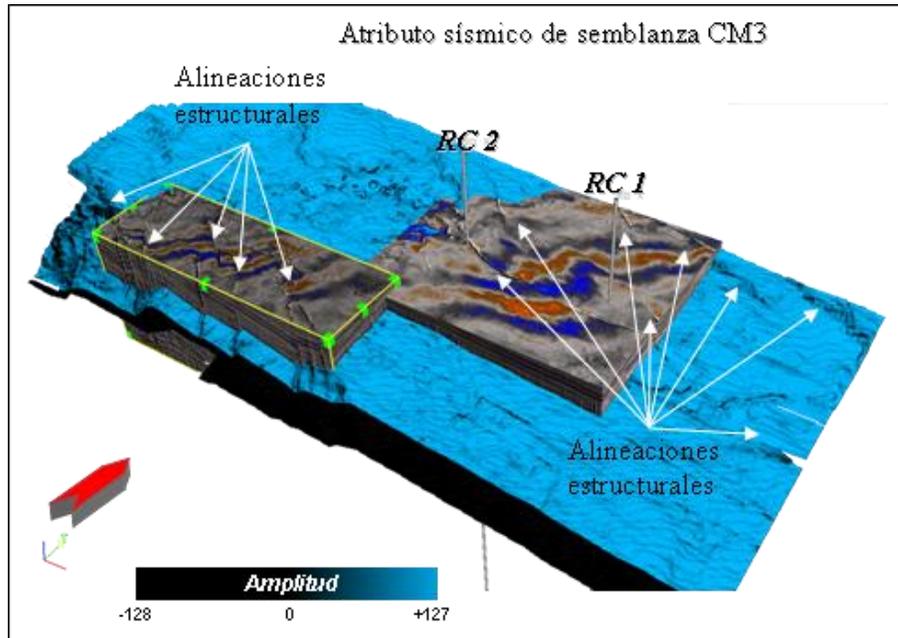


Figura 5.10 Interpretación de fallas en el atributo de semblanza marcador CM3.

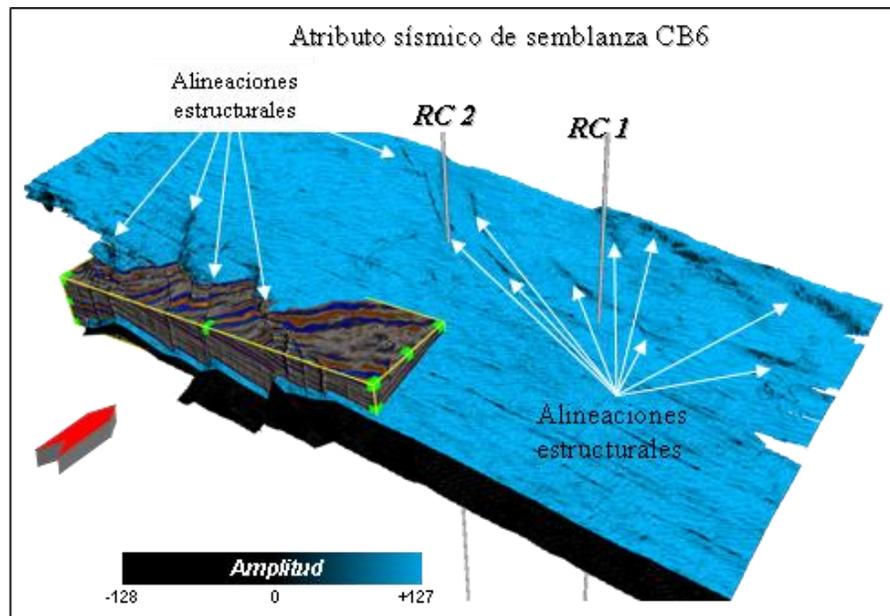


Figura 5.11 Interpretación de fallas en el atributo de semblanza marcador CB6.

Con base en la interpretación de los horizontes y fallas en las secciones sísmicas y atributos sísmicos, se generaron los mapas estructurales en tiempo. En la Figura 5.12 y Figura 5.13, se presenta los mapas estructurales de los niveles CM4 de la Formación Cumana y CB6 de la Formación Cubagua. En ambos niveles estructurales el rumbo de la estructura es Suroeste-Noreste con buzamiento entre 1° y 4° hacia el Sureste y esta presente un sistema de fallas normales hacia el Sur. Los pozos RC 2 y RC 1, se ubican en la parte media de esta estructura tipo monoclin. Este comportamiento estructural es característico del resto de las superficies estructurales CM5, CM3, CM2, CM1, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5 (Apéndice C.1, Apéndice C.2, Apéndice C.3, Apéndice C.4, Apéndice C.5, Apéndice C.6 y Apéndice C.7).

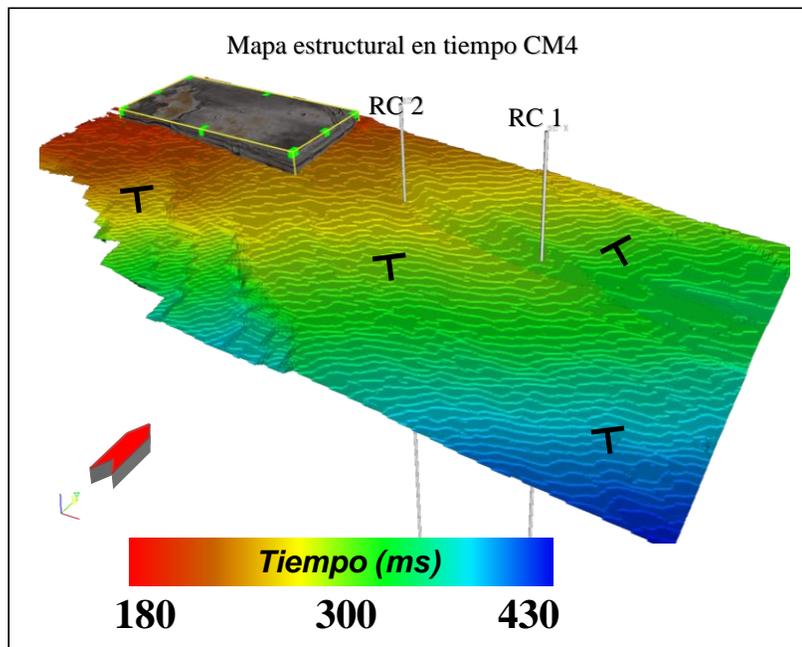


Figura 5.12 Superficie estructural del horizonte del marcador CM4.

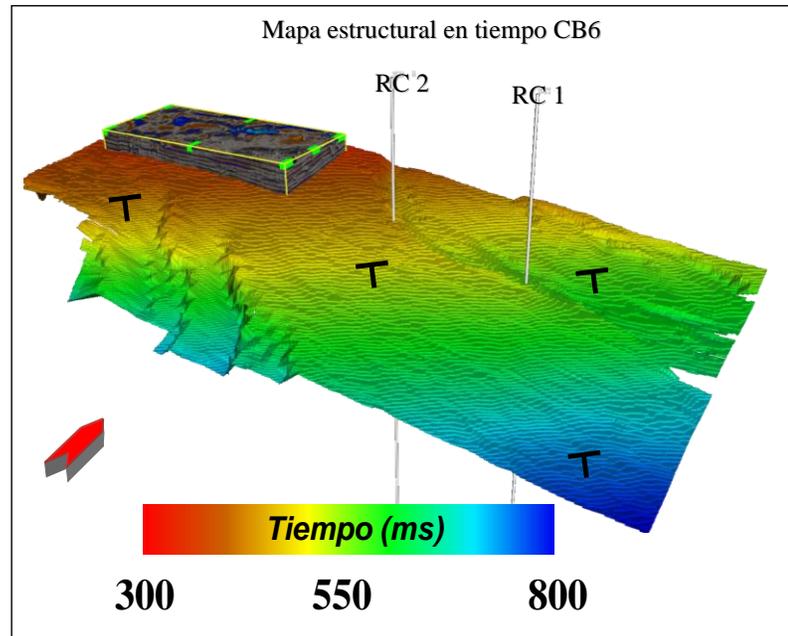


Figura 5.12 Superficie estructural del horizonte del marcador CB6.

5.5 Determinación de la conversión Tiempo - Profundidad a través de un modelo de velocidades.

El modelo de velocidades representa el medio por el cual se realiza la conversión del dominio del tiempo a profundidad. Se debe recordar que los mapas estructurales y la sísmica 3D están en el dominio en tiempo (ms), por lo que su expresión en profundidad TVDss consideró los sismogramas sintéticos con las curvas Tiempo-Profundidad (TZ) realizados a los pozos RC 2 y RC 1. Sin embargo, la información que tuvo mayor relevancia en el proceso de conversión corresponde con el cubo de velocidades de procesamiento (RMS), la cual es una información generada por la empresa de reprocesamiento sísmico y del cual se extrajo los diferentes mapas de velocidades de los horizontes interpretados. Se dio más importancia al cubo de velocidades RMS de la sísmica que a los mismos pozos debido a la poca densidad de pozos en el área y que el cubo de velocidades de la sísmica tiene un mayor espectro y

alcance, que es importante y preponderante en estas circunstancias de baja densidad de pozos. Al final, la conversión es un proceso que se realizó de forma sencilla y rápida en el programa de *OpenWorks* teniendo en cuenta las unidades de distancia, es decir metros por segundos (m/seg) de la sísmica y pies por segundos (pie/seg) de los registros sísmico.

Por supuesto, estos mapas de velocidades no estaban totalmente amarrados a las velocidades de los pozos, puesto que se está en presencia de escalas y fuentes de datos diferentes (sísmica y registros sísmicos). Por tal razón, se utilizó las velocidades de los pozos obtenidas a partir de los registros sísmicos 4116,37 (RC 2) y 3920,66 (RC 1), calibrando con las velocidades de procesamiento de la sísmica 3D (5492,37 en el RC 2) y 5628,66 en el RC 1, mediante el factor de conversión promedio de 0,25 (RC 2) y 0,30 (RC 1) y posterior conversión al multiplicar la velocidad del mapa estructural en tiempo por el mapa de velocidades calibrado.

5.6 Generacion de mapas de los horizontes interpretados

Los mapas de contornos estructurales en profundidad es el producto final propuesto en el alcance del trabajo de grado. Se realizaron los mapas estructurales CM5, CM3, CM2, CM1, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5. En la Figura 5.13, se muestra el mapa estructural CM4 ajustado al tope del marcador estratigráfico y también se puede observar el sistema de fallas normales al Norte y Sur. En este nivel estructural las zonas someras (menos profundas) se ubica hacia el Suroeste y profundiza hacia Sureste con profundidades que van desde 500 pies TVDss hasta 1100 pies TVDss. El rumbo de la estructura es Suroeste-Noreste y buzamiento aproximado de 1° a 4° hacia el Sureste (Apéndice D.1, Apéndice D.2 y Apéndice D.3).

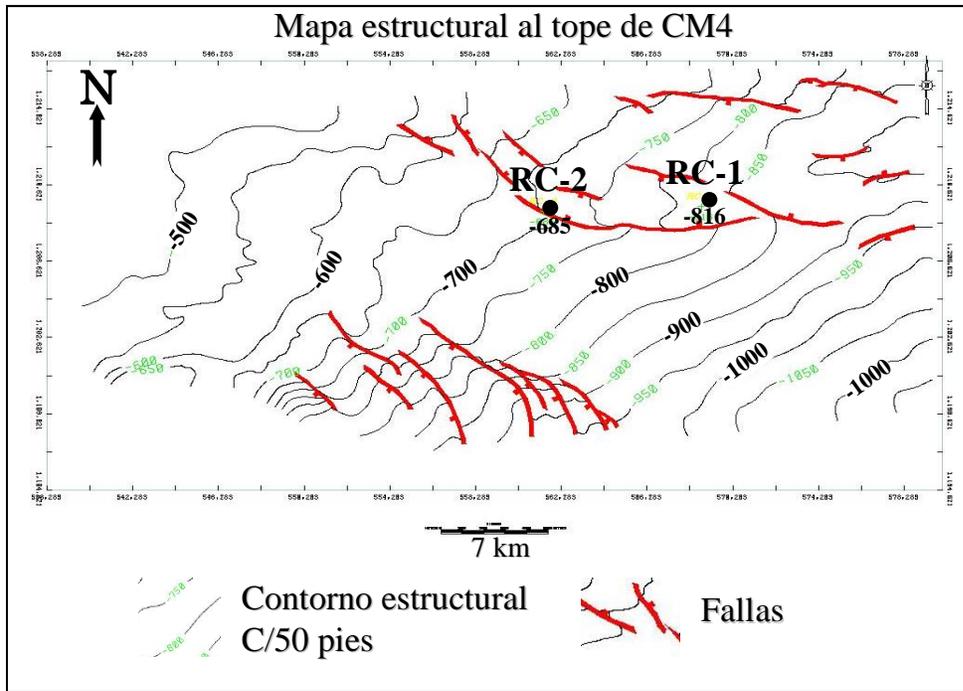


Figura 5.13 Mapa estructural del horizonte del marcador CB6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1.) Dentro de la validación de la información geológica se interpretaron los marcadores estratigráficos, que se utilizó para horizontalizar la sección estratigráfica correspondiente al marcador CM5 de la Formación Cumana.
- 2.) Los marcadores estratigráficos son lateralmente continuos y los espesores se mantienen relativamente homogéneos.
- 3.) En la zona estratigráfica de estudio del Campo Río Caribe presenta una estructura definida como un monoclinal con rumbo preferencial Sureste-Noreste con un buzamiento aproximado de 1°- 4° hacia el Sureste.
- 4.) Se logró la correlación cronoestratigráficamente de doce (12) marcadores geológicos con pozos vecinos y su relación con la respuesta de los reflectores sísmico mediante la calibración sísmica pozo.
- 5.) Todos los horizontes fueron interpretados en un área de 670 Km² utilizando un mallado de interpretación regular de 20IL x 20XL (cada 500m).
- 6.) La interpretación estructural de los niveles someros tienen un impacto en las operaciones, debido a que se tiene una mejor definición de los patrones de fallas y por consiguiente ayudara a disminuir el riesgo geológico operacional durante futuras perforaciones en el campo.

7.) Las fallas interpretadas en el intervalo somero del Campo Río Caribe están asociadas a desplazamientos verticales de carácter normal que varían entre 10 y 300 pies con rumbos Suroeste-Noreste y buzamientos de 1° y 4° hacia el Sureste.

Recomendaciones

- 1.) Utilizar los mapas estructurales realizados en este trabajo de grado para tener un mejor control del seguimiento geológico operacional de los pozos nuevos propuestos en el Plan de explotación.
- 2.) Sustentar el diseño de la trayectoria de pozos y optimización de la profundidad de asentamiento de los revestidores en los niveles someros.
- 3.) Con base en la interpretación de los diferentes horizontes sísmicos de los niveles someros, se sugiere realizar extracciones sísmicas del cubo de amplitud con diferentes ventanas de extracción con la finalidad de visualizar posibles acumulaciones de hidrocarburo en la zona somera.
- 4.) Validar la correlación geológica de los marcadores someros interpretados en los pozos del Campo Río Caribe considerando información de núcleos en los pozos a perforar.
- 5.) Una vez iniciada la perforación de pozos nuevos, se sugiere actualizar los mapas de contornos estructurales con base en los topes estratigráficos de los pozos.
- 6.) Utilizar la interpretación estructural realizada en este estudio para la identificación y evaluación interna de las macrounidades para el almacenamiento de ripios y efluentes (Proyecto de Inyección de Desechos).

REFERENCIAS

Arias, F., (2012) **INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** pp. 24-25.

Arias, F., (2006) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA.** 5º edición, Caracas.

Arias, F., (1999) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** Editorial Episteme, Caracas.

Brown, A. (2004) **INTERPRETATION OF THREE-DIMENSIONAL SEISMIC DATA.** AAPG Memoir 42, SEG Investigations in Geophysics, No 9.

Caraballo Luis F., Macsotay Oliver. (1973) **DESCRIPCIÓN DE UNA TERRAZA LITORAL DE ORIGEN MARINO EN LA COSTA SUR DE LA PENÍNSULA DE ARAYA (ESTADO SUCRE, VENEZUELA).** Boletín Instituto Oceanográfico, Universidad de Oriente, No. 12, Cumaná, Venezuela, pp 51–58.

Carnevali, J.; Lugo, J.; Audemard, F.; Porras, L.; Parraga, F.; Ysaccis, R.; Pereira, J. G.; Blanco, B.; Giraldo, C.; Cohen, M.; Di Croce, J.; Loureiro, D.; Gallango, O.; Bernardo, L.; Hernandez, O.; Goncalves, A.; Tarache, C.; Liliu, A.; Bally, A. (2000) **PROYECTO DE EXPLORACIÓN POR HIDROCARBUROS COSTA AFUERA DE VENEZUELA – PECA.** Informe Técnico Confidencial, PDVSA CVP-Exploración Caracas, Venezuela.

Castro, M., y Mederos, A., (1985) **LITOESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE CARÚPANO.** VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Memoria I, pp 201-225.

Landmark, (2004) **POSTSTACK FAMILY REFERENCE MANUAL.** pp 241-375.

PDVSA CVP, Proyecto Mariscal Sucre, (2006) **SOMETIMIENTO DE RESERVAS PROBADAS DE GAS NATURAL EN LOS YACIMIENTOS DEL CAMPO MEJILLONES Y RÍO CARIBE.** Gerencia de Yacimientos, Puerto la Cruz.

PDVSA-Beicip Franlab, (2008) **EVALUACIÓN DEL GOES DE LOS YACIMIENTOS RÍO CARIBE, MEJILLONES, PATAO, DRAGÓN, PROYECTO MARISCAL SUCRE**. Documento interno PDVSA, Puerto La Cruz.

PDVSA-EEII Costa Afuera (2012) **PLAN INTEGRAL DE EXPLOTACIÓN DE LOS CAMPOS MEJILLONES Y RÍO CARIBE, PROYECTO MARISCAL SUCRE**. Documento interno PDVSA, Puerto La Cruz.

PDVSA-Exploración, (2013) **GEOLOGÍA Y POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO DEL NORTE PARIA DE VENEZUELA, (PGP NORTE DE PARIA)**. Documento interno PDVSA, Puerto La Cruz.

Pereira, J.G., (1985) **EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DE CARÚPANO DURANTE EL TERCIARIO**. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Memoria I, pp 2618-2648.

Pinto, J. A., (2008) **ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA DEL CENOZOICO DE LA CUENCA DE CARÚPANO, NORESTE DE VENEZUELA**. Reporte Interno PDVSA-Intevep INT 12598, 2008.

Regueiro, J. (1997) **SÍSMICA PARA INGENIEROS Y GEÓLOGOS DE YACIMIENTO**. CIED. Puerto la Cruz. Venezuela.

Sabino, C. (2002) **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Caracas: Panapo.

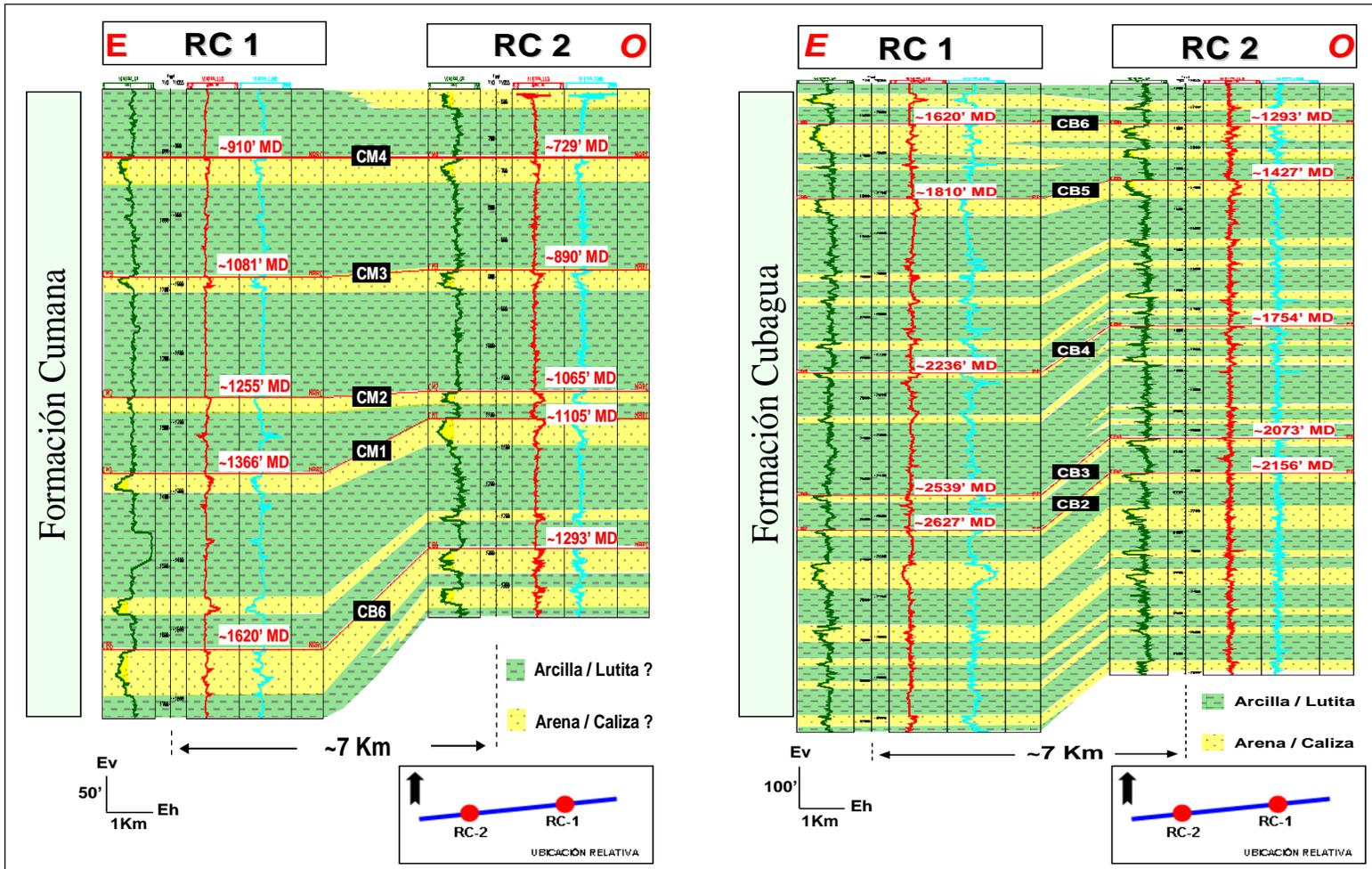
Sabino, C., (1992) **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo, Caracas.

Talukdar, S. (1983) **PETROLOGICAL STUDY OF VOLCANIC AND SEDIMENTARY ROCKS FROM OFFSHORE WELLS THE NORTH OF PARIA AREA**. Intevep, S.A. Ciencias De La Tierra, Sección Geoquímica, pp 282.

Taner, M.T., (2001) **SEISMIC ATTRIBUTES**. CSEG recorder, Houston, U.S.A, pp 48-56.

APÉNDICES

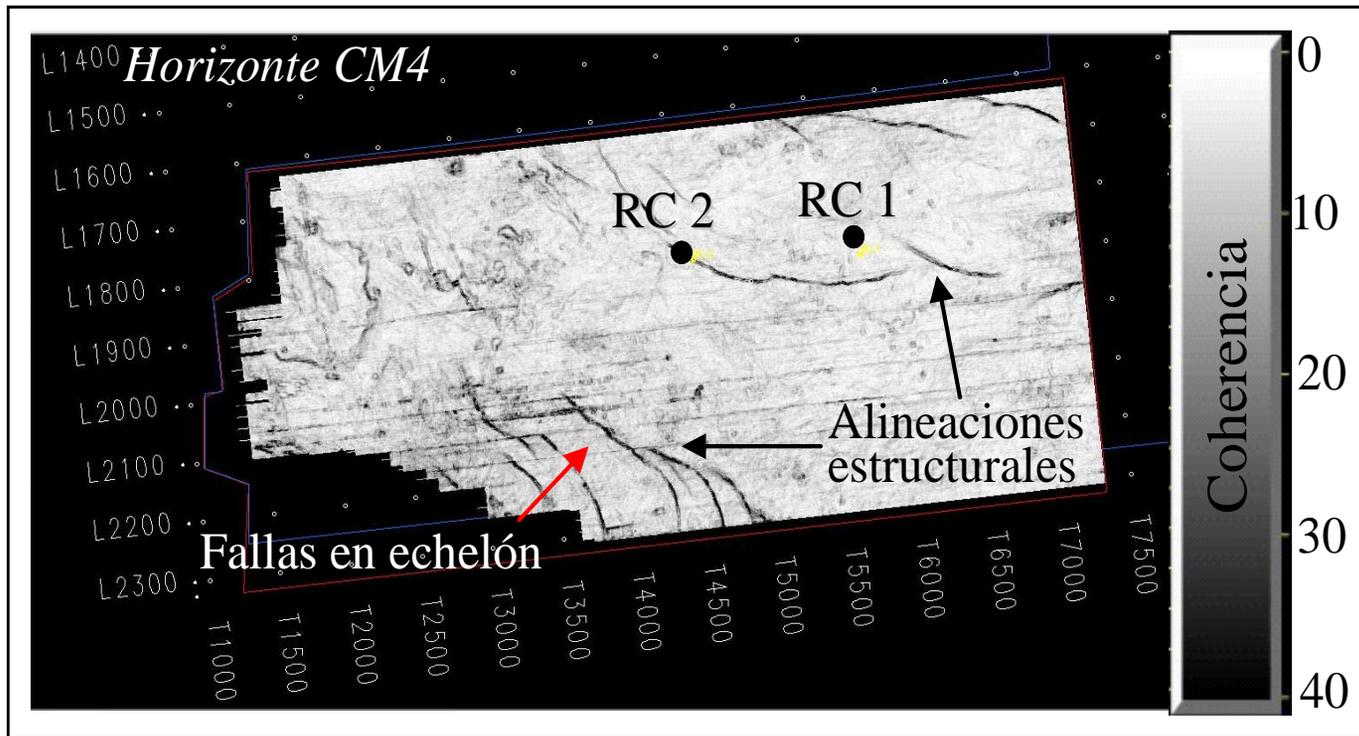
Apéndice A
Secciones estratigráficas de las formaciones
Cumana y Cubagua



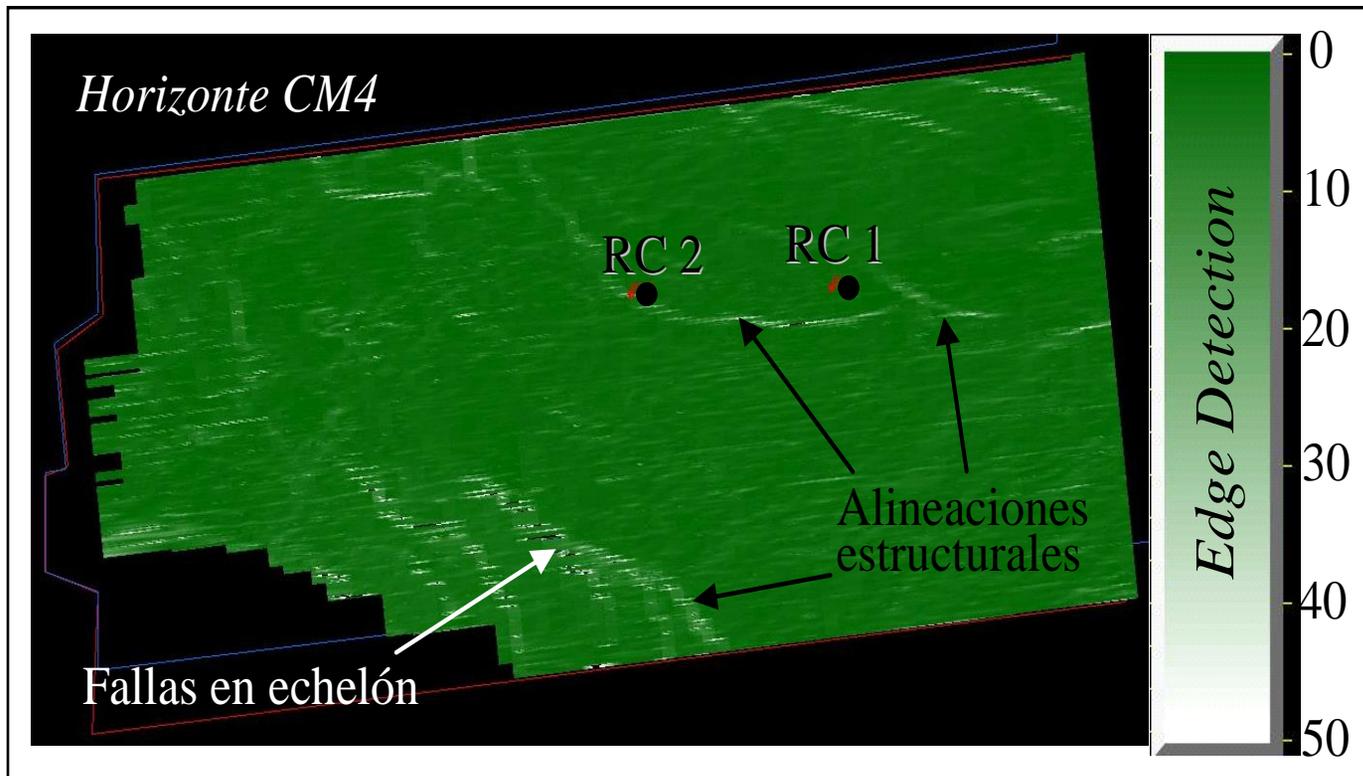
Apéndice A.1 Sección estratigráfica con los pozos RC 2 y RC 1, formaciones Cumana y Cubagua.

Apéndice B

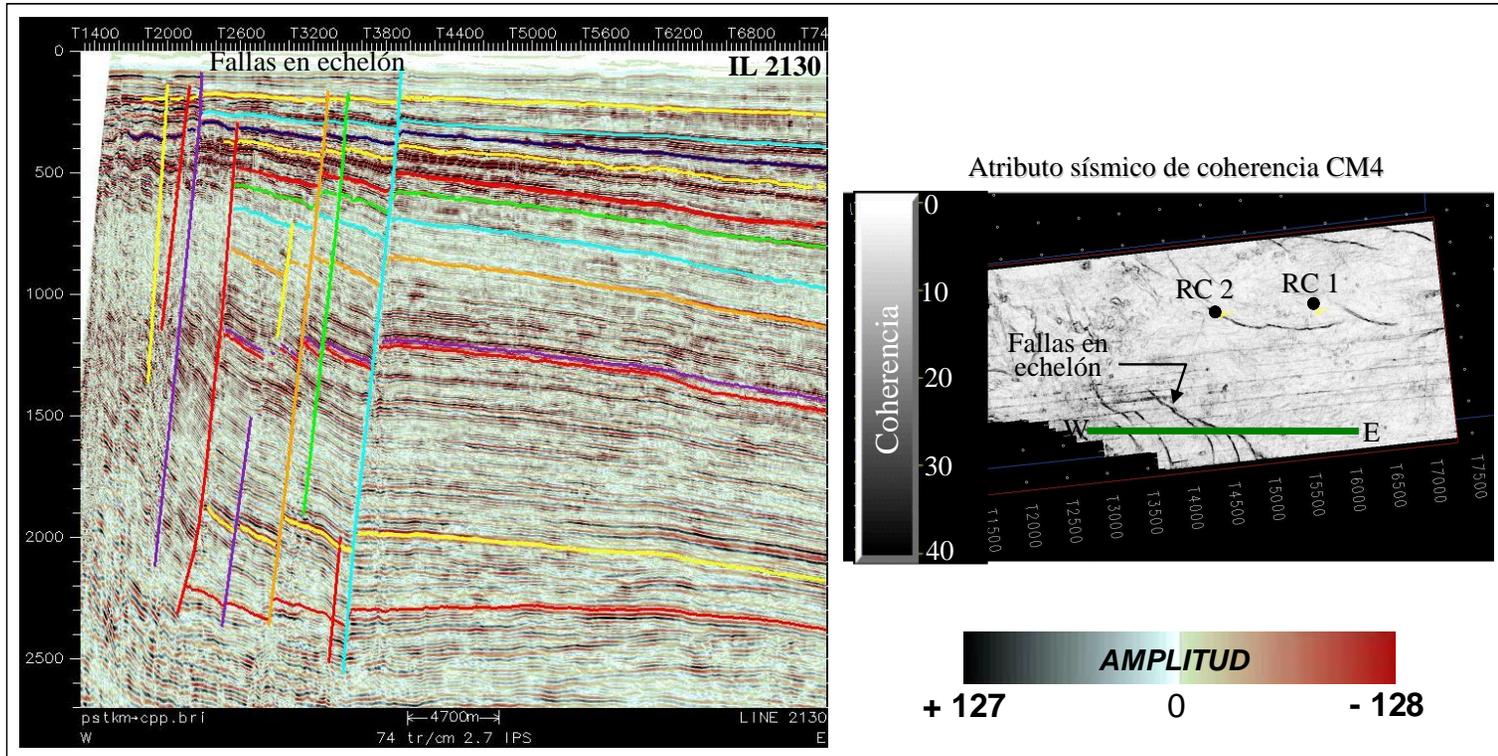
Mapas de atributos estructurales en tiempo



Apéndice B.1 Mapa de coherencia del nivel estructural CM4

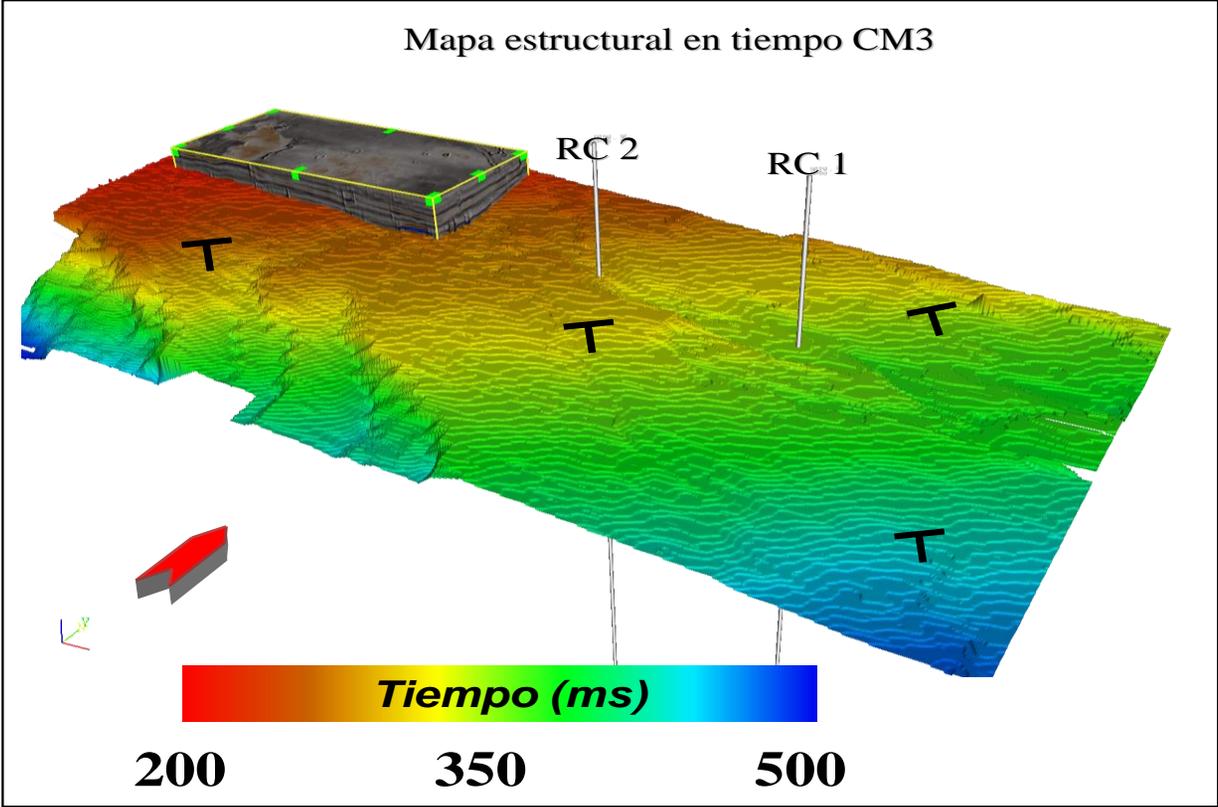


Apéndice B.2 Mapa de *edge detection* del nivel estructural CM4

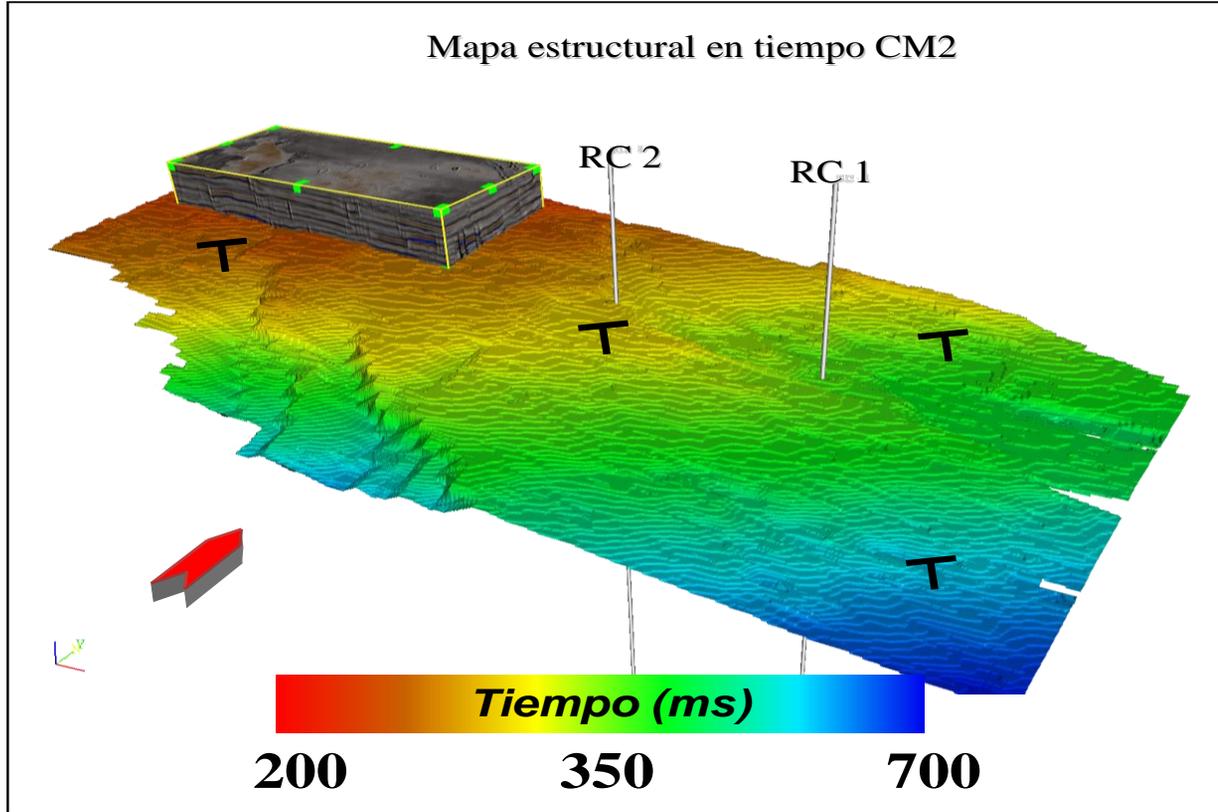


Apéndice B.3 Sección sísmica *inline* 2130 del nivel estructural CM4

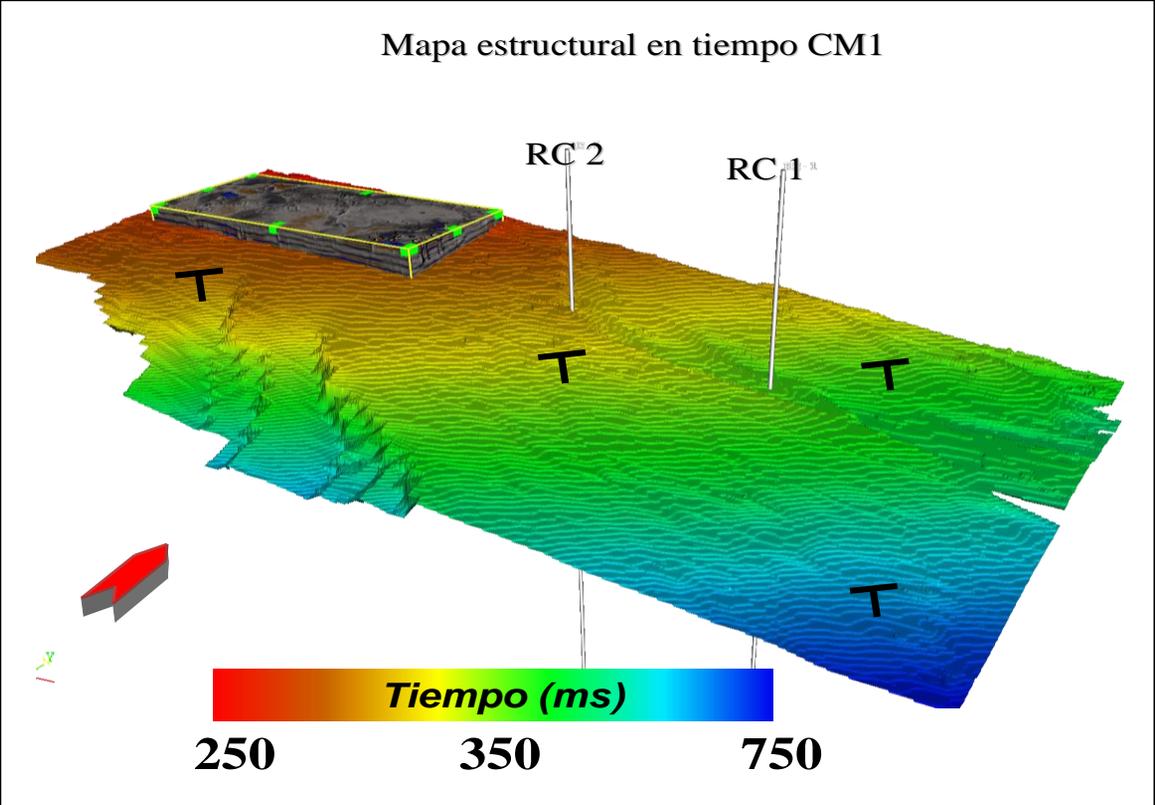
Apéndice C
Mapas estructurales en tiempo



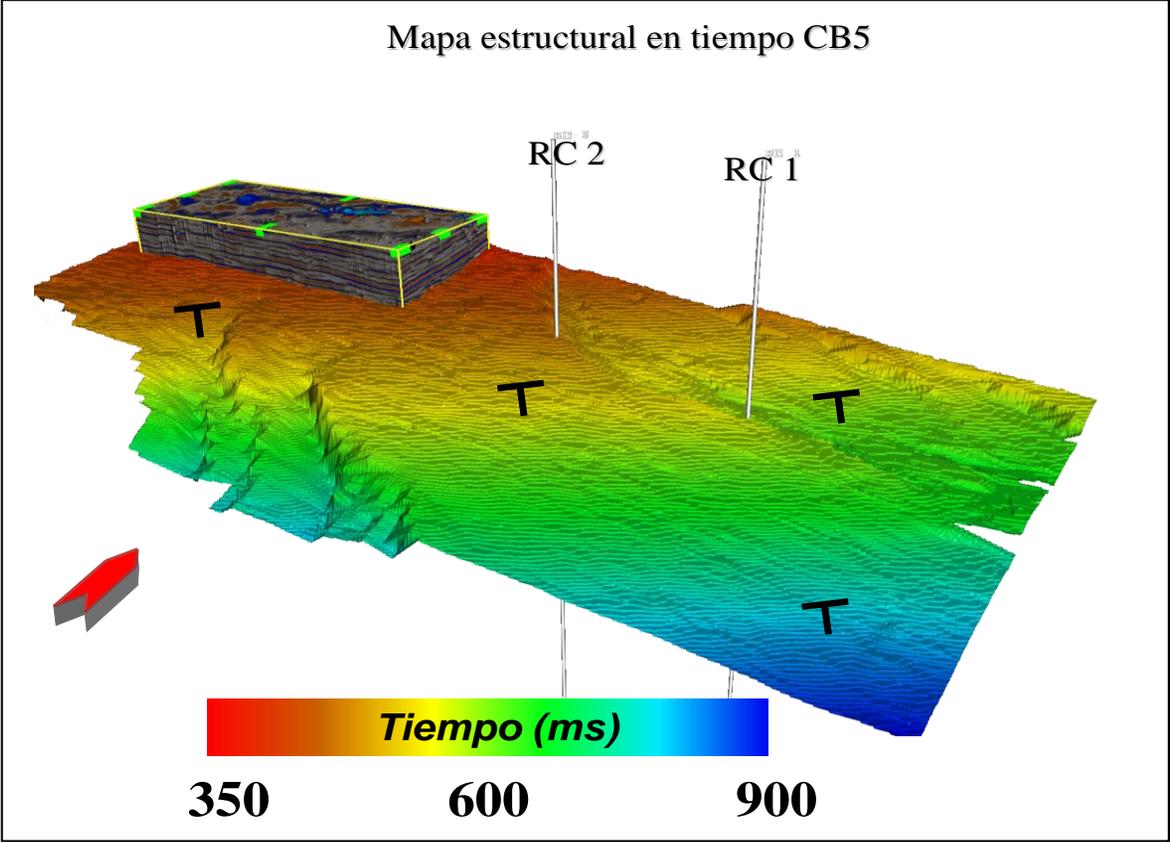
Apéndice C.1 Superficie estructural en tiempo del tope CM3



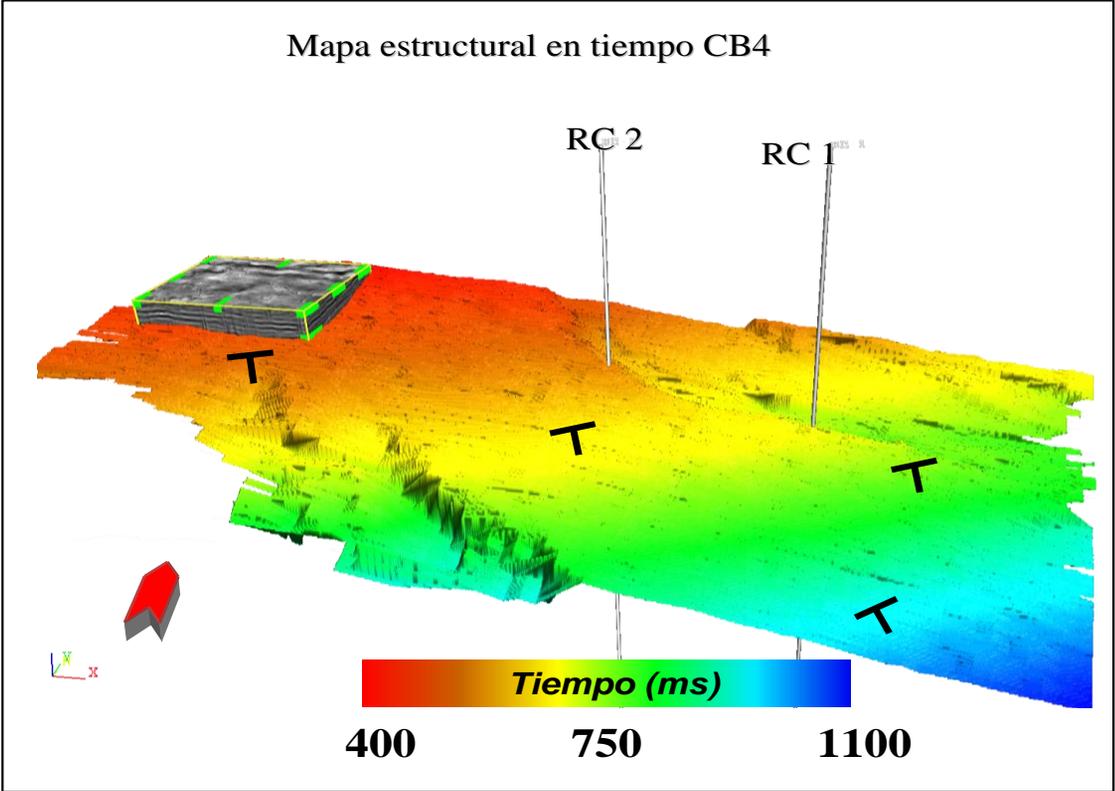
Apéndice C.2 Superficie estructural en tiempo del tope CM2



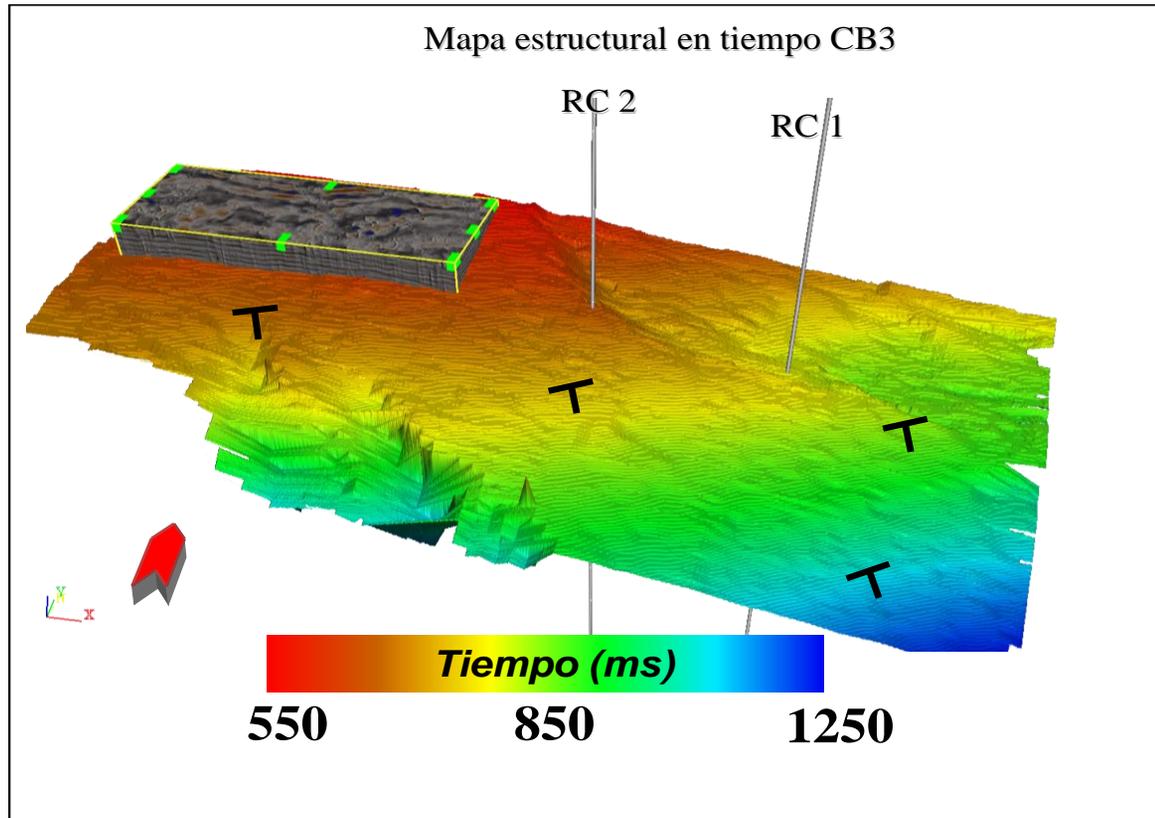
Apéndice C.3 Superficie estructural en tiempo del tope CM1



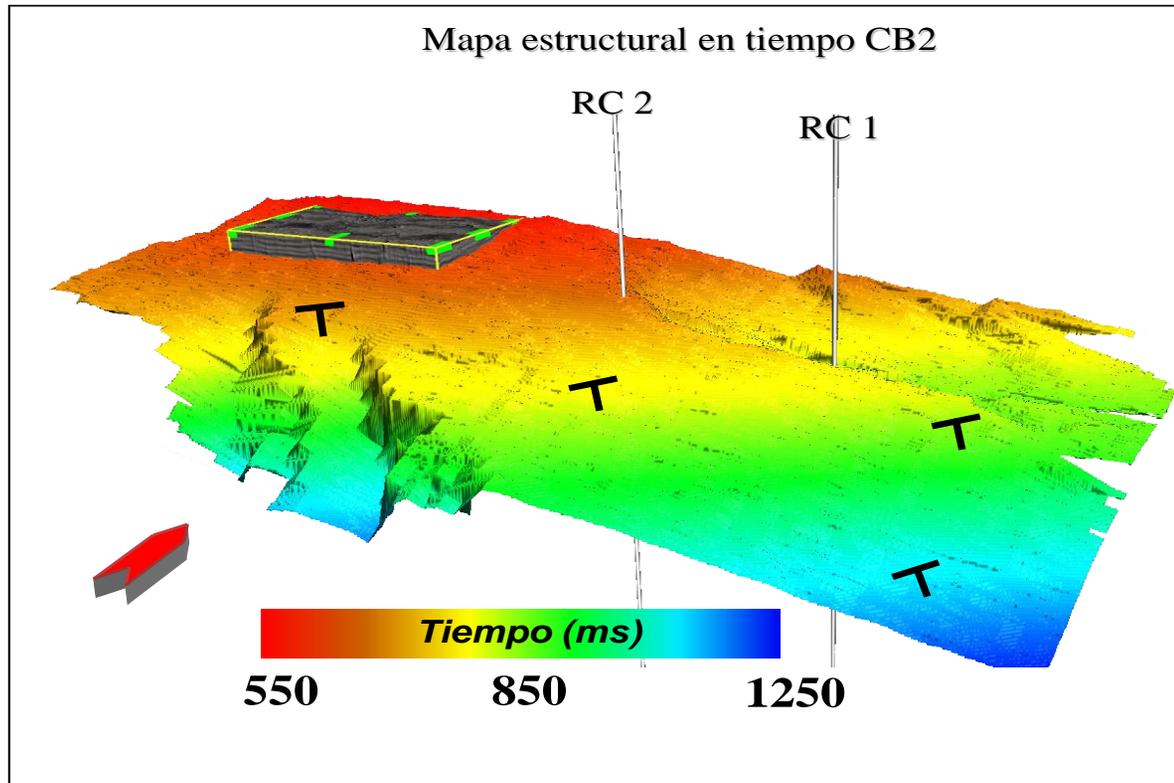
Apéndice C.4 Superficie estructural en tiempo del tope CB5



Apéndice C.5 Superficie estructural en tiempo del tope CB4



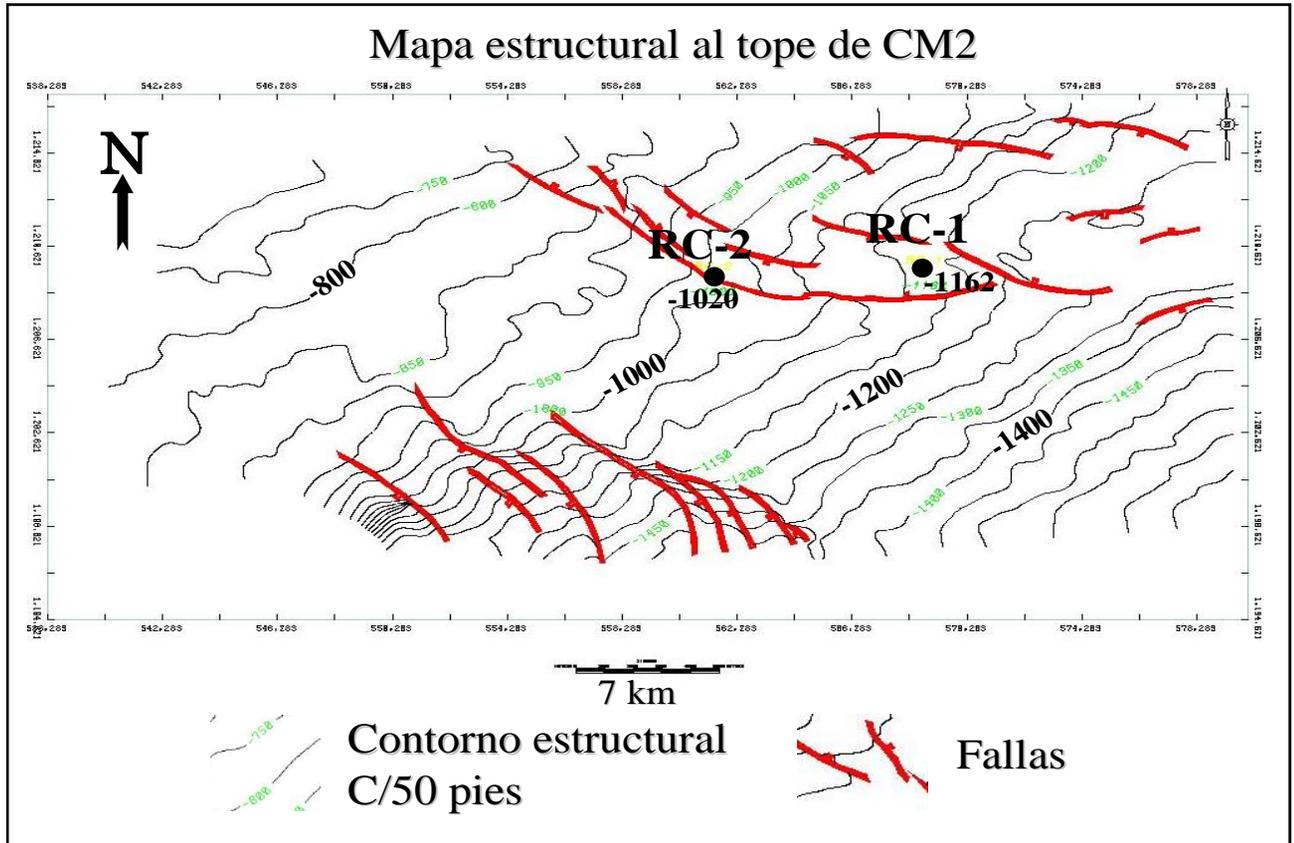
Apéndice C.6 Superficie estructural en tiempo del tope CB3



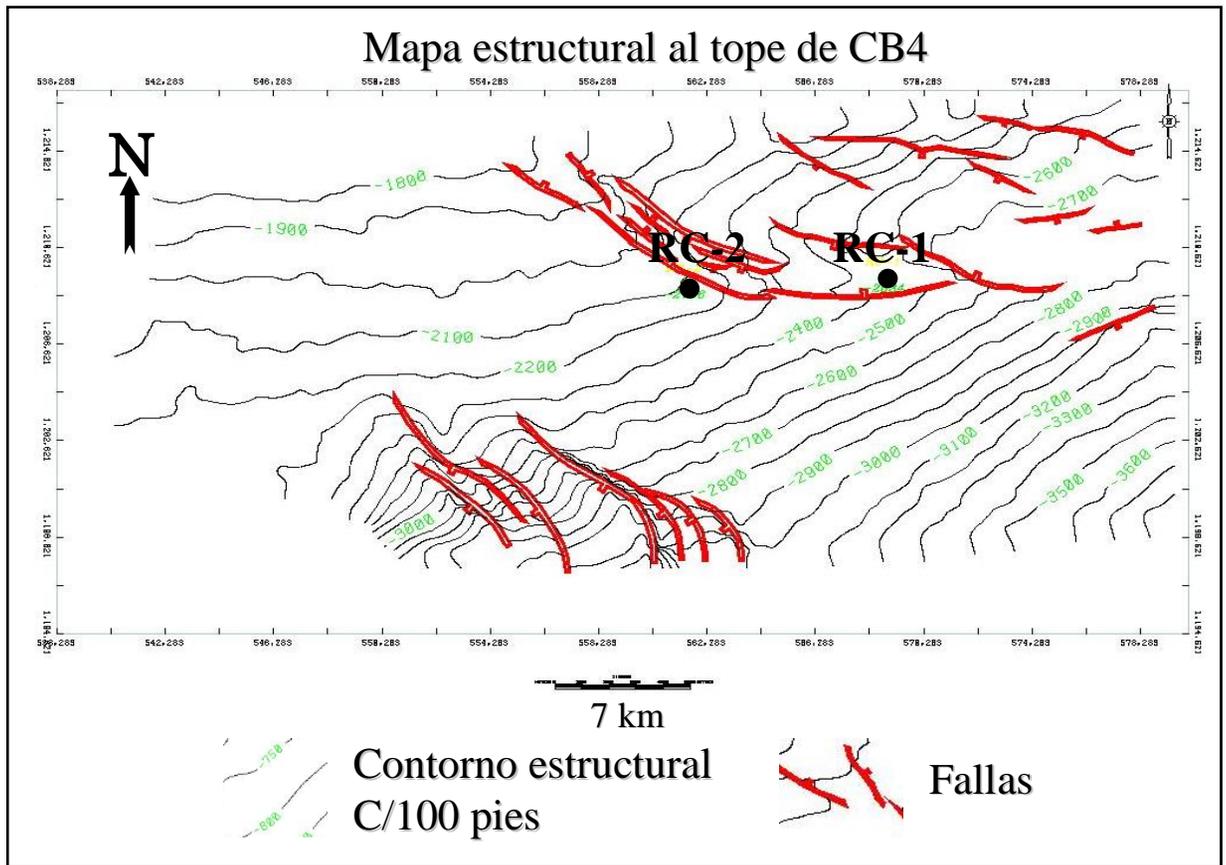
Apéndice C.7 Superficie estructural en tiempo del tope CB2

Apéndice D

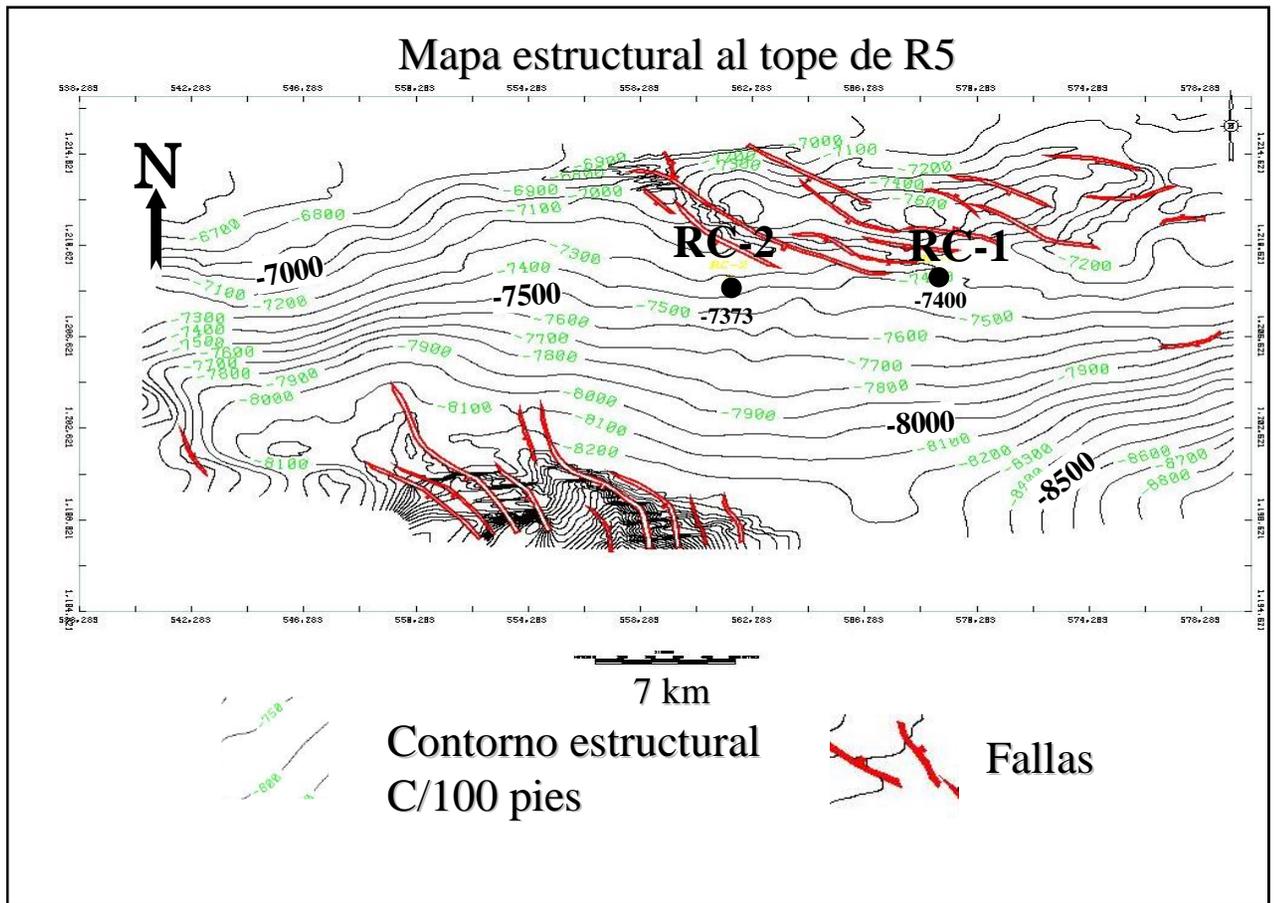
Mapas de contornos estructurales en profundidad



Apéndice D.1 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope
CM2



Apéndice D.2 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope CB4



Apéndice D.3 Mapa de contorno estructural en tiempo del tope R5

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	INTERPRETACIÓN SÍSMICO- ESTRUCTURAL DE LOS HORIZONTES SOMEROS DEL CAMPO RÍO CARIBE PERTENECIENTE AL PROYECTO MARISCAL SUCRE
---------------	--

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	Código CVLAC/ e-mail	
CARLOS E. TORRES	CVLAC	17.047.336
	e-mail	carlos.torca@gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Interpretación sísmica- estructural
Horizontes someros
Calibración sísmica- pozo

Sismograma Sintético
Mapas Estructurales

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA y/o DEPARTAMENTO	SUBÀREA y/o SERVICIO
Ciencias de la Tierra	Dpto. Geología

RESUMEN (ABSTRACT):

El Campo Río Caribe se encuentra ubicado al Norte de Paria Costa Afuera Oriental de Venezuela con una extensión de 206 Km² y donde se encuentran 2 pozos exploratorios RC 1 y RC 2. En este trabajo de grado se realizó la interpretación sísmica y estructural de los horizontes someros localizados dentro de las formaciones Cumana y Cubagua de la Cuenca de Carúpano. La metodología de trabajo consideró información sísmica 3D integrado con información de registros convencionales (rayos gamma ray, resistividad, sísmico compresional, densidad, neutrón y cáliper), registros sísmicos (CheckShot) y topes estratigráficos de los pozos RC 2 y RC 1. Se interpretó las superficies estructurales CM5, CM4, CM3, CM2, CM1, CB6, CB5, CB4, CB3, CB2, CB1 y R5 en la herramienta geotecnológica SeisWork, donde se realizó la calibración sísmica-pozo y determinó la resolución sísmica vertical de 30-35 pies. En las superficies estructurales, el rumbo de la estructura es Suroeste-Noreste con buzamiento entre 1° y 4° hacia el Sureste y está presente un sistema de fallas normales con desplazamientos verticales que varían entre 10 y 300 pies. Los pozos RC 2 y RC 1, se ubican en la parte media de esta estructura tipo monoclin. Con la interpretación estructural de los niveles se tiene una mejor definición de los patrones de fallas y por consiguiente disminuir el riesgo geológico operacional, diseño optimizado de la trayectoria de pozos y de la profundidad de asentamiento de los revestidores durante futuras perforaciones en el campo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Monteverde, Francisco	ROL	CA	ASx	TU: X	JU
	CVLAC:	12.196.676			
	E_MAIL	monteverdefr@gmail.com			
	E_MAIL				
Abud, Jorge	ROL	CA	AS	TU	JU: X
	CVLAC:	4.984.842			
	E_MAIL	jorgeabuds@yahoo.com			
	E_MAIL				
Sandoval, Berenice	ROL	CA	AS	TU	JU: X
	CVLAC:	8.884.428			
	E_MAIL	beresandoval@hotmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

Año	Mes	Día
2022	10	20

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESISINTERPRETACIONSISMICO-ESTRUCTURAL	.docx

ALCANCE:

ESPACIAL: PDVSA EEII COSTA AFUERA, ESTADO ANZOATEGUI

TEMPORAL: 10 Años

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO: Geólogo

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO: Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO: Geología

INSTITUCIÓN: Universidad de Oriente

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 05/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLANOS CUMBELE
Secretario



C.C.: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.
JABC/YOC/maruja

Apertado Correos 094 / Telfa: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

MECABAYCZARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ANEXOS

DIRECCION

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del 11 de noviembre 2009, según convocatoria C.V. 034-2009)

"Los Trabajos de grado son evaluados a proporción de la relevancia de los temas, y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de académicos respectivos, quien lo participará al Consejo Universitario."

AUTOR

Cecilia Eleazar Torres
C.I. V. 27.047.336

AUTOR
Francisco Mijanguez
C.I. V. 12.952.628

JURADO
Jorge Abad
C.I. V. 4.984.842

JURADO
Ramiro Sánchez
C.I. V. 8.886.428