

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA Y
ESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA
(CRETÁCICO-TERCIARIO) DEL BLOQUE 5 Y 6 DEL ÁREA
BOYACÁ Y BLOQUES 1 Y 2 DEL ÁREA JUNÍN, FAJA
PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Zamora M, Juan C.

Para optar al Título
de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA Y ESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA (CRETÁCICO-TERCIARIO) DEL BLOQUE 5 Y 6 DEL ÁREA BOYACÁ Y BLOQUES 1 Y 2 DEL ÁREA JUNÍN, FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Yaraixa Pérez

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Juan Carlos Suarez

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Zamora M, Juan C.

Para optar al Título

de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2009

Caracas, Noviembre 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Juan C. Zamora M., titulado:

**“INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA Y
ESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA
(CRETÁCICO-TERCIARIO) DEL BLOQUE 5 Y 6 DEL ÁREA DE
BOYACÁ Y BLOQUES 1 Y 2 DEL ÁREA DE JUNÍN, FAJA
PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Francisco Bolívar

Jurado

Prof. Adriana González

Jurado

Prof. Yaraixa Pérez
Tutor Académico

Ing. Juan Carlos Suarez
Tutor Industrial

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a la memoria de mis padres quienes con mucho amor, sabiduría y paciencia supieron inculcar en mi infancia los valores de la constancia, responsabilidad y perseverancia para el logro de los objetivos propuestos, iluminando siempre el camino a seguir y guiando mis pasos con mil bendiciones.

A mi esposa Evelyn por su gran amor y apoyo incondicional y en especial por enseñarme a luchar por lo que se sueña con ahínco y total entrega.

A mis hijos Juan Francisco y Juan Sebastián por ser mi fuente de inspiración, con la intención de formarlos de manera correcta con valores y buen ejemplo para enseñarles la importancia de la constancia a lo largo de la vida.

A mis hermanos, Ampa y Yayo por su constante preocupación y apoyo, procurando siempre colaborar en lo que estuviese a su alcance para contribuir al logro de mis metas.

Los Amo

“Ante las adversidades de la vida es muy fácil desistir y darse por vencido, de valientes es asumir con coraje las justas responsabilidades y con perseverancia y humildad imponerse en el logro de nuestras metas”

Juan Carlos Zamora Masiá

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo y a su madre la Virgen María por estar siempre a mi lado, llevándome de sus manos por el buen sendero, guiando mis pasos e iluminándome el camino.

A nuestra grandiosa Alma Mater UCV, la casa que vence la sombras, por lo mucho que nos dió y lo poco que nos pidió a cambio, pero con el compromiso de representarla con orgullo donde y frente a quien estemos.

Al departamento de Geofísica, en especial a nuestra gran aliada Dany, quien siempre se preocupó por resolver nuestros problemas estudiantiles y alcahuetearnos eventualmente, mil gracias.

A mis profesores, especialmente a los de la nueva generación: Massimo di Giuglio, Victor Casas, Francho Bolívar, Adriana González y muy especialmente a mi profesora-tutora Yaraixa Perez quienes con su enfoque moderno y actualizado de la Geofísica contribuyeron en mi formación académica.

A todos mis compañeros de Geofísica, muy especialmente a Ignacio Mederos gran amigo y colaborador.

A PDVSA - CVP por la oportunidad brindada y su financiamiento en la realización de este trabajo, especialmente a los Sres. Humberto Sánchez, Pedro León, Jesús Hernández y muy especialmente a mi tutor Juan Carlos Suarez, el gran pelón, mil gracias a todos por el apoyo y muestras de solidaridad brindada en los momentos aciágos.

Al personal CVP- RECURSOS HUMANOS, Lubina Torres, Yulisbeth Matos, Rafael Martinez y María de los Angeles Urdaneta quienes brindaron su total apoyo en la solución de los problemas administrativos.

A SICOPROSA por cubrir todos los gastos de mi hospitalización durante el periodo que estuve complicado de salud.

Nuevamente a mis tutores, Juan Carlos Suarez y Yaraixa Pérez por su amistad, dedicación, conocimiento y por sus buenos consejos, tanto de humanidad como en interpretación sísmica.

A Hector Rondón y Jaime Sosa por su apoyo en la interpretación de horizontes y fallas, a Daniel por su apoyo con los sintéticos, a Yilson e Isaias por la información de los pozos del Bloque Junín, a Nelsy por su apoyo con las correlaciones geológicas de los pozos, y a Anaelisa por la información petrofísica, al gran Jimmy Arenas y Jesús Enrique por su ayuda en la carga del proyecto.

A Carlos Correa por su ayuda en la edición y digitalización de los mapas, así como al Sr Adolfo en su apoyo con el escaneo y ploteo de los mapas, ambos en tiempo record.

A mis panas Rafa Pabón y Mila Rodriguez con quienes se hizo un gran equipo de trabajo y el tiempo de tesis se hizo muy familiar y divertido.

Zamora M., Juan C.

“INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA Y ESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA (CRETÁCICO-TERCIARIO) DEL BLOQUE 5 Y 6 DEL ÁREA DE BOYACÁ Y BLOQUES 1 Y 2 DEL ÁREA DE JUNÍN, FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”

Tutor Académico: Prof. Yaraixa Pérez. Tutor Industrial: Ing. Juan Carlos Suárez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2009, 91 pp.

Palabras claves: Interpretación sismoestratigráfica y estructural, sísmica 2D, Faja Petrolífera del Orinoco.

Resumen: El principal objetivo de este trabajo fue realizar una interpretación sismoestratigráfica y estructural en los bloques 5 y 6 del área de Boyacá y en los bloques 1 y 2 del área de Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco, a partir de la interpretación de líneas sísmicas 2D en la secuencia Cretácico-Terciario. Se estructuró la base de datos, se evaluó su confiabilidad y fue usado en el presente trabajo de investigación, para su carga en la plataforma de interpretación. Se procedió a ajustar el desfase de las líneas sísmicas, se interpretaron las fallas geológicas, su distribución espacial y saltos, seguidamente se realizó la interpretación de los horizontes sísmicos en tiempo y su posterior escalado a profundidad. Los saltos de fallas se estimaron mediante la interpretación. Se calibraron 29 pozos mediante la elaboración de su sismograma sintético para el amarre con la sísmica, obteniéndose un ajuste en la correlación sísmica-pozo variable entre 14% y 85 %, ocurriendo ambos ajustes en pozos control, el menor en J250 y el mejor en J232, ambos ubicados en el área de Junín. Los datos arrojados por la tabla tiempo-profundidad, obtenida de la elaboración de los sismogramas sintéticos, permitió estimar los valores de velocidad interválica asociados a los topes marcadores de cada pozo, que se le realizó sismograma sintético. A partir de estos valores se generó los mapas de velocidad, y luego con ellos se construyó las superficies en profundidad. Los mapas en profundidad generados presentan alto control estructural de las fallas interpretadas, las cuales presentan saltos de 40 a 90 pies aproximadamente según se calculó en la interpretación. En cuanto a las curvas del mapa en tiempo se obtuvo gradientes de de 18,3 ms/km para el Tope del Precretácico, 12,7 ms/km para el Tope del Cretácico, 8,3 ms/km para el del Oligoceno y 5,8 ms/km para el Tope del Intramioceno. De acuerdo al mapa de profundidades obtenido y para verificar la confiabilidad del modelo de profundidad se incluyeron en el mapa dos pozos que no se usaron en la construcción del modelo de velocidades con sus correspondientes topes geológicos para determinar su profundidad aparente y estimar el margen de error relativo, el cual estuvo enmarcado entre 2,55% y 1,34 % respectivamente para los dos pozos empleados en la comprobación del modelo.

INDICE

	Página
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VII
INDICE.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
CAPITULO	
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Localización del área de estudio.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Justificación.....	4
II. MARCO GEOLÓGICO.....	5
2.1 Cuenca Oriental de Venezuela.....	5
2.1.1 Subcuenca de Maturín.....	6
2.1.2 Subcuenca de Guárico.....	7

2.1.3	Faja Petrolífera del Orinoco.....	7
2.2	Evolución Geodinámica de la cuenca y estratigrafía regional...7	
2.2.1	Fase Prerift.....	8
2.2.2	Fase Rift	9
2.2.3	Fase de margen pasivo.....	9
2.2.4	Fase de colisión oblicua.....	10
2.2.5	Estratigrafía regional.....	10
2.3	Geología Regional.....	12
2.4	Síntesis estructural del Área Boyacá-Área Junín.....	16
2.5	Graben de espino.....	17
III.	MARCO TEÓRICO.....	19
3.1.	Conceptos básicos.....	19
3.1.1.	Ondas sísmicas.....	19
3.1.2	El sismograma sintético.....	20
3.1.3	Modelo convolucional de la traza sísmica.....	21
3.1.4	Problemas en los sismogramas sintéticos.....	21
3.1.5	Modelo del subsuelo.....	22
3.1.6	Tiempos de viaje.....	22
3.1.7	Impedancia acústica.....	23
3.1.8	Coeficientes de reflexión.....	24

3.1.9	Resolución sísmica vertical.....	25
3.1.10	Inversión sísmica.....	26
3.1.11	Entonamiento.....	26
3.2	Estructura.....	27
3.2.1	Detección y cartografiado de fallas.....	27
3.2.2	Interpretación de horizontes.....	27
3.3	Conversión tiempo-profundidad.....	28
3.4	Estratigrafía sísmica.....	28
3.4.1	Procedimiento de interpretación sísmica.....	28
3.4.2	Secuencias sísmicas y patrones de reflexión.....	29
3.5	Patrones sísmicos.....	30
IV.	MARCO METODOLÓGICO.....	31
4.1	Elaboración de base de datos.....	31
4.1.1	Control de calidad de los datos.....	35
4.2	Interpretación sísmica.....	36
4.2.1	Selección de líneas sísmicas.....	36
4.2.2	Ajuste de desfase entre líneas sísmicas.....	42
4.3	Interpretación estructural 2D.....	44
4.3.1	Interpretación de fallas.....	44

4.3.2	Interpretación de horizontes.....	46
4.4	Realización de sismogramas sintéticos.....	50
4.4.1	Valoración de registros de TVS.....	50
4.4.2	Elaboración serie de reflectividad.....	52
4.4.3	Selección ondícula para convolución.....	52
4.4.4	Calibración de la traza sintética a la sísmica.....	53
4.5	Cálculo resolución vertical de la sísmica.....	55
4.6	Mapas en tiempo.....	56
4.7	Mapas de Velocidad.....	56
4.8	Mapas en profundidad.....	58
4.9	Comprobación de los mapas generados.....	59
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
5.1	Resolución vertical de la sísmica.....	60
5.2	Sismogramas sintéticos.....	60
5.3	Interpretación sísmica.....	62
5.3.1	Interpretación de fallas.....	64
5.3.2	Interpretación de horizontes.....	67
5.4	Mapas en tiempo.....	68
5.5	Mapas de velocidad.....	64

5.6	Mapas estructurales en profundidad.....	70
5.7	Comprobación del modelo.....	70
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APENDICE.....	78

LISTA DE TABLAS

TABLA		Página
1	Inventario de curvas en los pozos.....	32
2	Parámetros de grabación y versión de las líneas sísmicas.....	32
3	Secuencia de procesamiento de las diferentes campañas	33
4	Velocidades interválicas calculadas a partir de la tabla tiempo profundidad del pozo J-25.....	57
5	Porcentaje de error en comprobación del modelo en profundidad para el pozo J115.....	59
6	Porcentaje de error en comprobación del modelo en profundidad para el pozo J28.....	59
7	Calculo de resolución sísmica vertical y límite según widdes.	60
8	Coefficientes de correlación en sísmica-pozo.....	61
9	Orientación y saltos de fallas interpretadas.....	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1.1 Localización del área de estudio.....	2
2.1 Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela y subcuencas de Guárico y Maturín.....	5
2.2 Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental de Venezuela.....	12
3.1 Componentes real e imaginaria de la Traza sísmica compleja.....	19
3.2 Composición de una traza a partir de los contrastes de velocidades y densidades.....	24
3.3 Criterio de resolución.....	25
3.4 Patrones de reflexión sísmica.....	29
4.1 Línea sísmica N-S de la campaña 2007.....	35
4.2 Mapa base y transecto regional para el amarre de la sísmica...36	
4.3 Transecto regional formado por las líneas sísmicas J1, J2 y B3 y pozos M-123, M-126, J-105 y J-242.....	37
4.4 Transecto o sección sísmica B-1, B-2 y J-1 sin interpretar.....	38
4.5 Transecto o sección sísmicas B-3, B-4, B-5 y B-1 sin interpretar.....	39
4.6 Sección estratigráfica E-O Boyacá 5 y Junín 1.....	40
4.7 Sección estratigráfica E-O Boyacá 6 y Junín 2.....	41

4.8	Muestra de desfase en tiempo de líneas sísmicas.....	42
4.9	Ajuste de desfase en tiempo de líneas sísmicas.....	43
4.10	Correlación de fallas en líneas B11 y B12 paralelas entre sí....	44
4.11	Interpretación de fallas en líneas B11 y B12.....	45
4.12	Interpretación de fallas en transecto regional.....	47
4.13	Método Loops y zigzag para despliegue de transectos sísmicos.....	48
4.14	Sísmica con pozos desplegados, proyectado, topes y registro gammaray.....	49
4.15	Curva Tiempo-Profundidad del pozo J25.....	50
4.16	Tendencia regional de las curvas Tiempo-Profundidad originales en los pozos de los Bloques 1, 2, 5 y 6.....	51
4.17	Ondícula extraída de la sísmica con de fase cero.....	52
4.18	Proceso elaboración sismograma sintético.....	53
4.19	Ajuste por datum de la traza sintética a la sísmica.....	54
4.20	Espectro de amplitud vs frecuencia en la sísmica del 1975.....	55
5.1	Patrones de reflexión Tope Precretácico.....	62
5.2	Patrones de reflexión tipo downlap Tope Oligoceno.....	63
5.3	Patrones de reflexión tipo toplap Tope Intramioceno.....	64
5.4	Modelo estructural generado.....	65

5.5	Mapa estructural de Venezuela.....	66
5.6	Transecto interpretado.....	67

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, Petróleos de Venezuela (PDVSA) a través de la Corporación Venezolana del Petróleo (CVP) desarrolla el Proyecto Orinoco Magna Reserva, el cual está enmarcado en el Plan Siembra Petrolera 2005-2012, y pretende cuantificar y certificar las reservas de hidrocarburos presentes en la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO), la misma está dividida en 27 bloques y organizada en cuatro áreas: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo para un total aproximado de dieciocho mil doscientos kilómetros cuadrados (18200km²).

La zona de interés para la realización del presente Trabajo de Grado corresponde a los Bloques 5 y 6 del Área Boyacá (anteriormente Machete) y Bloques 1 y 2 del Área de Junín (anteriormente Zuata), zonas que poseen interpretaciones sismoestratigráficas y estructurales previas, llevadas a cabo en 1983 y que no han sido reinterpretadas; por ello se realiza el presente trabajo con la finalidad de contribuir en la reinterpretación de estos datos junto a los nuevos adquiridos en el año 2.006 . Por ello, se han orientado los nuevos estudios a niveles estructurales y estratigráficos más precisos, y a menor escala que los anteriores, para aumentar el potencial y la rentabilidad de explotación de los hidrocarburos allí presentes, así como permitir junto a los avances tecnológicos modernos, modificar la gravedad API del hidrocarburo presente en la zona y clasificado en la categoría de pesado y extrapesado para convertirlo en hidrocarburo mediano, aumentando su valor en el mercado petrolero mundial en beneficio del país.

En este trabajo se presentan en secuencia las etapas de la interpretación sismoestratigráfica y estructural realizada, así como, los resultados obtenidos de los Bloques 5 y 6 del área Boyacá y de los Bloques 1 y 2 del área de Junín. Dichas etapas

incluyen, desde la recopilación de los datos, hasta el mapeo de los modelos estructurales que mejor se ajustan a la realidad geológica de la zona para las diferentes superficies erosivas interpretadas.

1.2 Localización del área de estudio

La zona en estudio está delimitada por el Bloque 5 y 6 del Área Boyacá y Bloques 1 y 2 del Área de Junín, colindantes entre sí; pertenecientes a la Faja Petrolífera del Orinoco. Esta zona posee una extensión aproximada de 3598 km² desglosada de la siguiente manera: Boyacá 5 (1.247 Km²), Boyacá 6 (1.247 Km²), Junín 1 (552 Km²) y Junín 2 (552 Km²), encontrándose ubicados entre el Estado Anzoátegui y el Estado Guárico (figura 1.1). La zona en estudio está ubicada en el flanco Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, al Norte del río Orinoco. Los Bloques 1, 2, 5 y 6 limitan al Norte con el Bloque Boyacá Norte y el poblado de las Marías de Ipire, al Sur con el Río Orinoco, al Oeste con los Bloques Boyacá 1,2 y 4; y al Este con los Bloques Junín 3 y 4.

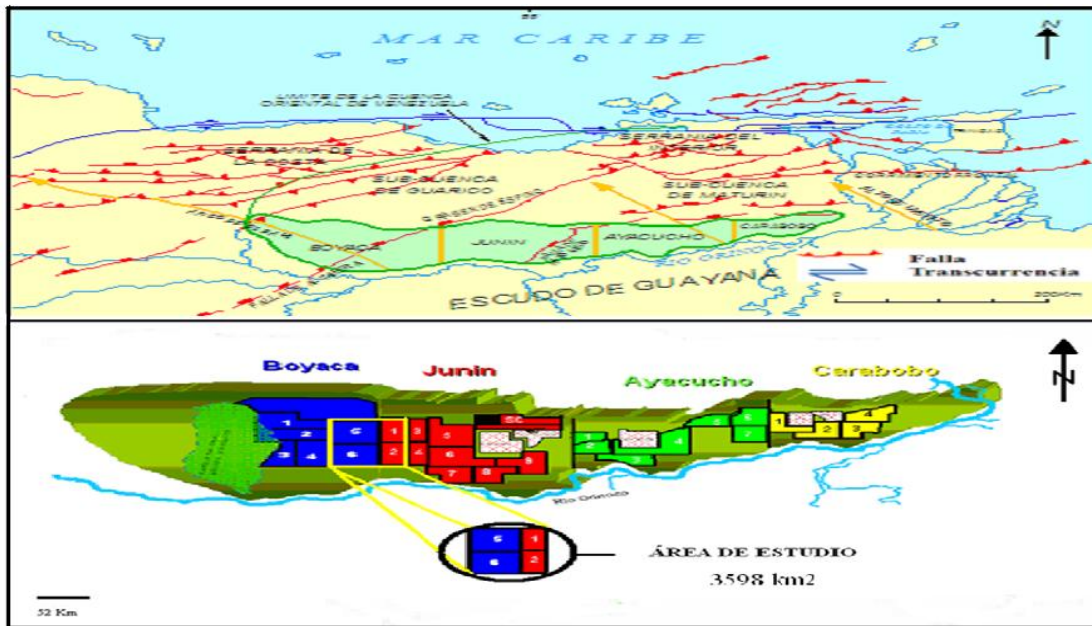


Figura 1.1 Localización del área de estudio (Tomado y modificado de Schlumberger, 1997 y PDVSA, Diagnóstico Proyecto Magna Reserva, 2007).

1.3 *Objetivos*

1.3.1 *Objetivo general*

Generar los mapas estructurales de los topes secuenciales Cretácico-Terciario de los Bloques 5 y 6 del Área de Boyacá y los Bloques 1 y 2 del Área Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Realizar el control de calidad de los datos sísmicos de la zona de estudio.
- Corregir los desfases en tiempo (shift) de las líneas sísmicas que se cruzan.
- Calibrar las secciones sísmicas con los datos de pozo.
- Interpretar las fallas presentes en las secciones sísmicas.
- Interpretar los horizontes sísmicos que corresponden a límites de secuencias (superficies erosivas).
- Generar los modelos de velocidad para las diferentes interfases interpretadas.
- Elaborar los mapas de profundidad y tiempo de las superficies sísmicas interpretadas.

1.4 Justificación

El presente Trabajo Especial de Grado contribuirá al proceso de certificación y cuantificación de reservas de hidrocarburos en la Faja Petrolífera del Orinoco, en cuanto al aporte de información estructural de los Bloques en estudio, permitiendo al país consolidarse a nivel mundial como uno de los mayores productores de petróleo, con grandes reservas probadas de hidrocarburo y uno de los principales suplidores del mismo a nivel mundial, garantizando a futuro el regular cumplimiento de la cuota de producción exigida por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) a nuestro país para satisfacer la demanda mundial de petróleo.

De igual manera, permitirá reducir la incertidumbre asociada a la localización de yacimientos en los Bloque 5 y 6 del Área Boyacá, y de los Bloques 1 y 2 del Área Junín, aportando una serie de conocimientos sobre el comportamiento acústico del subsuelo, con lo que se reforzará los modelos geológicos locales propuestos para mejorar la planificación de perforaciones y el diseño de nuevos tendidos de sísmica 2D.

Finalmente, tendrá un valioso aporte informativo a nivel de estudios integrados de yacimientos, y servirá como fuente de información metodológica para los futuros trabajos en interpretación sísmica 2D y modelado estructural.

CAPITULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1 Cuenca Oriental de Venezuela (C.O.V)

La Cuenca Oriental de Venezuela está situada en el Noreste de Venezuela, entre los la 8° y 11° de latitud norte y los 61° y 66° de longitud Oeste. Está limitada al Norte por la Serranía del Interior (Cordillera de Costa) y el cinturón ígneo metamórfico de Araya-Paria, al Este continúa sobre la corteza oceánica del Atlántico, hacia el Oeste limita con el Arco de El Baúl, y hacia el Sur está limitada por el Escudo de Guayana, siguiendo el curso del Río Orinoco (Di Croce, 1999) (figura 2.1).



Figura 2.1. Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela y subcuencas, Guárico y Maturín. (Tomado de Bochkarev, et al., 2007).

Esta depresión estructural tiene un total de 200.000 Km² que abarca los Estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro y parte del Estado Sucre (Plataforma Deltana y el Golfo de Paria).

La cuenca es asimétrica y elongada con un espesor de sedimentos del período

terciario de aproximadamente 8 km.

El flanco Sur de la cuenca buza ligeramente hacia el Norte, mientras que en el flanco Norte presenta fallamientos y cabalgamientos con la Serranía del Interior (Di Croce, 1999). Toda la Cuenca se inclina hacia el Este, debido a ello su parte más profunda está ubicada al Noreste, hacia Trinidad (González de Juana *et al.*, 1980).

De Oeste a Este, la Cuenca Oriental de Venezuela está subdividida en dos subcuencas: la Subcuenca de Guárico hacia el Oeste y la Subcuenca de Maturín al Este. La interfase que separa las Subcuencas de Guárico y Maturín de los plegamientos de la Serranía del Interior es el sistema de fallas de Anaco; mientras que las Subcuencas de Guárico y Maturín están separadas por el sistema de fallas de Anaco y sus estructuras asociadas (Di Croce, 1999).

La Cuenca Oriental de Venezuela es la segunda provincia más rica en hidrocarburos de Sur América después de la Cuenca de Maracaibo. Más de 12.000 pozos han sido perforados, y 35 grandes campos y 260 campos menores han sido descubiertos durante los 90 años de exploración y producción. Los campos más conocidos por su producción son Guara, Mata, Jusepín, Oficina y Quiriquire. Si se añade a estas reservas las reservas estimadas para la Faja del Orinoco, la Cuenca Oriental de Venezuela pasaría a ser la cuenca de mayores recursos petrolíferos de Sur América (González de Juana *et al.*, 1980).

2.1.1 Subcuenca de Maturín

La Subcuenca de Maturín tiene 112785 Km² de extensión y contiene un máximo de 9.000 m de sedimentos del Cretácico y post-Cretácico. Limita al Norte con La Serranía del Interior Oriental, al Sur con el Escudo de Guayana, al Este con La Plataforma Deltana, al Noreste con la subcuenca de Paria y al Oeste con la Subcuenca de Guárico, de la cual está separada arbitrariamente por el Arco de Anaco. La Subcuenca es asimétrica, con el flanco Norte sobrecorrido por alóctonos compues

tos principalmente por sedimentos del Cretácico, Paleoceno y Eoceno de la Serranía del Interior Oriental. Su eje estructural actual tiene orientación Este–Oeste y pasa cerca de la Ciudad de Maturín, Estado Monagas; tiene un fuerte declive hacia el Este, excepto en el extremo occidental, donde el declive es hacia el noroeste (Kiser, 1987).

2.1.2 *Subcuenca de Guárico*

La Subcuenca de Guárico tiene 49895 Km² de extensión y contiene un máximo de 7000 m de sedimentos del Cretácico y post–Cretácico. Limita al Norte con la Faja Piemontina de la Cordillera del Caribe al Sur con el Escudo de Guayana, al Oeste con el Arco de El Baúl y al Este con la subcuenca de Maturín, de la cual está separada arbitrariamente por el Arco de Anaco. Al igual que la Subcuenca de Maturín, también es asimétrica, con el flanco norte sobrecorrido por terrenos alóctonos compuestos principalmente por sedimentos y rocas metamórficas del Mesozoico, Paleoceno y Eoceno de la Cordillera del Caribe. Su eje estructural actual está cubierto por los corrimientos del Norte del Estado Guárico y su rumbo varía de Noroeste–Sureste en el Cretácico y Norte–Sur en el Mioceno (Kiser, 1987).

2.1.3 *Faja Petrolífera del Orinoco (FPO)*

La Faja del Orinoco es considerada como la acumulación de crudos pesados y extrapesados más grande del mundo. Ocupa la franja meridional de la Cuenca Oriental de Venezuela, al Sur de los Estados, Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, paralela al curso del Río Orinoco, extendiéndose en sentido Este - Oeste, desde las cercanías de la ciudad de Tucupita, en el Estado Delta Amacuro, hasta las inmediaciones de la ciudad de Calabozo, en el Estado Guárico. Abarca una extensión de 600 Km de Este a Oeste y 70 Km en dirección Norte Sur en total un área aproximada de 54000 Km². Fue dividida en cuatro zonas de exploración y perforación como son Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo.

2.2 *Evolución Geodinámica y estratigrafía regional*

Los Bloques 5 y 6 del Área Boyacá, así como los Bloques 1 y 2 del Área de Junín se encuentra enmarcado en la historia geológica de la Faja Petrolífera del Orinoco, por lo tanto, para entender la realidad geológica del subsuelo en la zona de estudio, es necesario conocer la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela.

Varios autores, entre ellos Eva *et al.*, (1989), Parnaud *et al.* (1995), y Erlich y Barrett (1992), coinciden al indicar que básicamente la evolución geodinámica y tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela comprende las siguientes etapas:

- (a) Una fase Prerift en el Paleozoico.
- (b) Una fase de Rifting y Drifting durante el Jurásico y el Cretácico Temprano.
- (c) Un periodo de margen pasivo desde el Jurásico Tardío - Cretácico Temprano hasta el Eoceno.
- (d) Una fase final durante la colisión oblicua (Sistema rumbo-deslizante y compresivo-transpresivo) que se ha ido extendiendo desde el Eoceno Medio (oeste) hasta el Oligoceno medio (este) y resultó en la formación de la Serranía del Interior y la transformación de la cuenca de margen pasivo a una cuenca tipo antepaís.

En la Cuenca Oriental de Venezuela sólo pueden ser reconocidos los dos últimos episodios de la evolución geodinámica a partir de los pozos y muestras de los afloramientos. Las primeras dos etapas son interpretadas a partir de data sísmica de la Subcuenca de Trinidad al Este y de la Subcuenca de Guárico al Oeste.

2.2.1 *Fase Prerift en el Paleozoico*

Esta fase o megasecuencia tuvo lugar en el Paleozoico y fue identificada a partir de perfiles sísmicos, donde se evidencian depresiones estructurales y se preservaron rocas de edad Paleozoica, asociada éstas con las Formaciones Hato Viejo y Carrizal de la Subcuenca de Guárico, las cuales fueron depositadas en ambien

tes marinos costeros a neríticos. Las secuencias encontradas por perforaciones están compuestas por areniscas de grano finos, ligeramente calcáreas con intercalaciones de conglomerados y lutitas verdes con espesores entre 3.000 y 5.000 mts y de 1,5 a 2,0 segundos en tiempo doble. (Parnaud et al., 1995).

2.2.2 *Fase Rift en Jurásico - Cretácico Temprano*

La fase o megasecuencia Rift tuvo origen durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano. Está caracterizada por el levantamiento vertical del borde cratónico, actividad volcánica en el Macizo de El Baúl, así como por un largo período de erosión sobre la mayor parte de la Cuenca Oriental. La transgresión está bien representada por la sedimentación de clásticos y calizas marinas de la Formación Barranquín y la depositación hacia el Sur del Grupo Temblador con la Formación Canoa de ambiente continental. Las calizas y arenas de estos períodos constituyen legítimos prospectos para el petróleo (González de Juana et al., 1980).

Por otro lado, al separarse Norteamérica de Gondwana, se crea un sistema extensional en el margen Norte de Suramérica. Este sistema ocurre en el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, y separa Yucatán de la Placa Suramericana (Parnaud *et al.*, 1995). La evidencia de este proceso se encuentra en la base de la Cuenca Oriental y está representada por los basaltos y capas rojas de edad Jurásico Medio-Temprano (Formación Ipire), depositadas en el Graben de Espino.

Ésta fase rift no está asociado a grandes adelgazamientos de la corteza o grandes subsidencias según sugieren Parnaud et al. (1995), y Erlich y Barrett (1992) en sus investigaciones sino más bien la tendencia es a aceptar un sistema de fallas rumbo deslizantes o transformantes como actividad tectónica durante la separación.

2.2.3 Fase de margen pasivo (Jurásico Tardío - Cretácico Temprano al Eoceno)

Desde el Jurásico Tardío o Cretácico Temprano al Eoceno se caracterizó por la subsidencia del margen Norte de Suramérica. En esta fase se depositaron rocas clásticas marinas en el orden de 3 a 4 km de espesor, entre las que destacan la Formación Querecual y la Formación San Antonio, las cuales son generadoras de petróleo pesado (Parnaud et al., 1995).

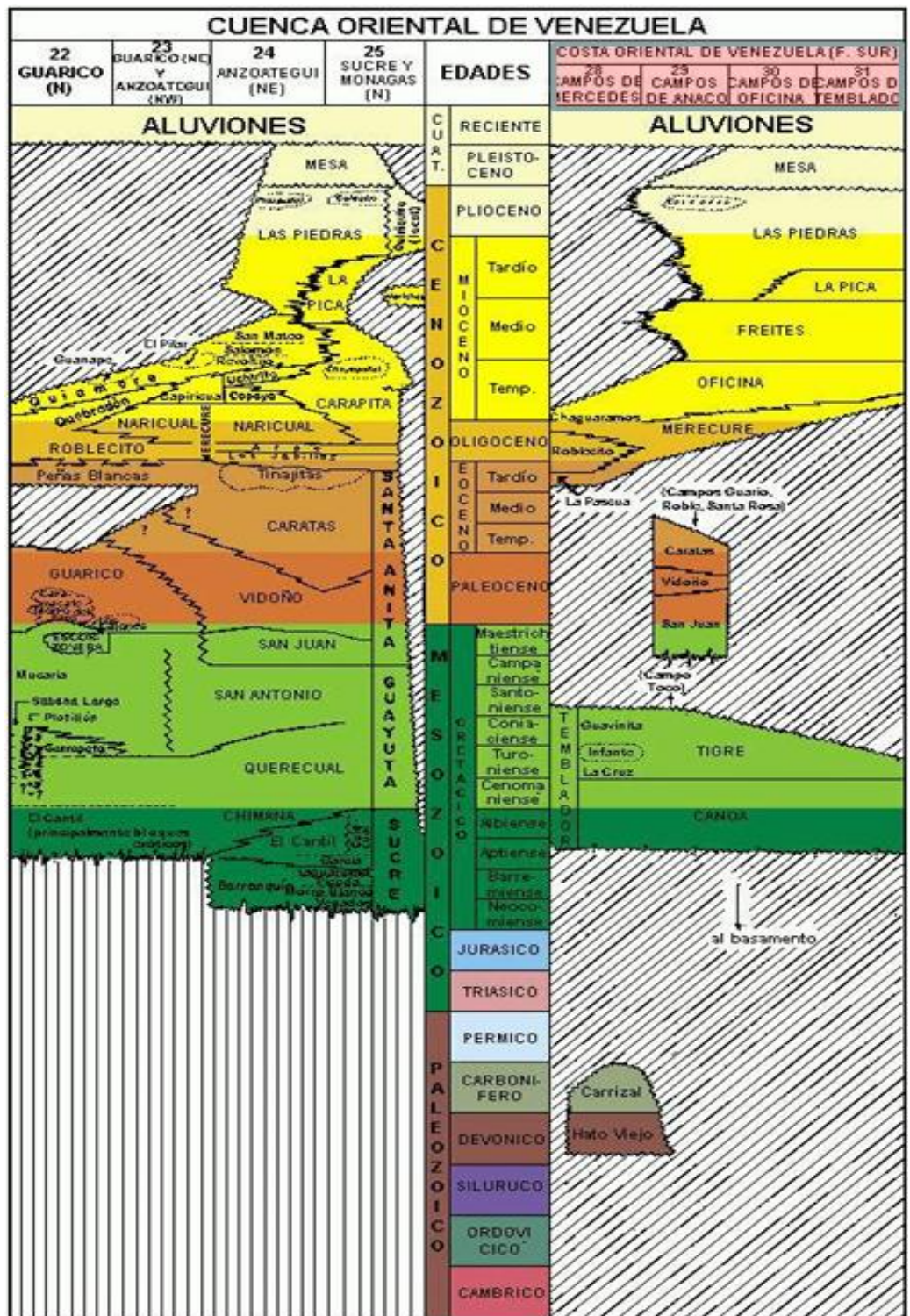
2.2.4 Fase de Colisión Oblicua (Eoceno Temprano - Medio al presente)

Como consecuencia de ésta se generó un sistema rumbo-deslizante y compresivo-transpresivo entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana, el cual creó una cuenca antepaís (foreland). Los depósitos característicos de ésta suprayacen a los de la etapa de margen pasivo y se crean las trampas asociadas a fallas. Como consecuencia de la carga litoestática generada por las napas producidas por la colisión (al Norte), ocurre una flexión isoestática de la litosfera, que provocó el levantamiento de la zona sur de la cuenca, exponiéndola a la erosión (Schlumberger, 1997).

2.2.5 Estratigrafía regional

Las formaciones que comprende la Cuenca Oriental de Venezuela se encuentra representada en la columna estratigráfica (figura 3) y está conformada por las Formaciones Mesa, las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, Grupo Temblador (Tigre y Canoa), Carrizal y Hato Viejo. Esta se inicia en el Paleozoico, con la Formación Hato Viejo de edad Devónico, depositada en discordancia sobre el basa

mento Precámbrico; y la Formación Carrizal, suprayacente, de edad Carbonífero. Discordante a ésta, se encuentra el Grupo Temblador del Cretácico Medio con las formaciones Canoa y Tigre de edad Aptiense-Santonienne. Una nueva discordancia en el Cretácico superior pone en contacto la secuencia marina de San Juan, Vidono y Caratas, del Cretácico Superior al Eoceno Medio. Sobre la discordancia del Eoceno se deposita la secuencia transgresiva representada por las formaciones Merecure, Oficina y Freites del Cenozoico Medio, de edad Oligo-Mioceno Medio y en concordancia con ellas termina la sedimentación con la depositación de los sedimentos continentales de Las Piedras y Mesa de edad Mio –Pleistoceno.



2.3 *Geología regional*

2.3.1 *Formación Hato Viejo (Cámbrico Temprano)*

El Léxico Estratigráfico Venezolano III (LEV III, 1997) expone que por estudios de pozos se conoce que esta formación se compone de areniscas de grano fino a grueso, ligeramente calcáreas, intercaladas con conglomerados; posee un espesor máximo de 91 m. Se encuentra en contacto discordante con el Escudo de Guayana (infrayacente) y en contacto concordante con la Formación Carrizal. El ambiente asociado a la Formación Hato Viejo es continental, y representa el relleno de cuenca de una fase erosiva, contemporánea o subsiguiente a alta actividad tectónica.

2.3.2 *Formación Carrizal (Cámbrico Temprano)*

La Formación Carrizal se compone de arcilitas verdosas a gris oscuro, duras, masivas y densas, generalmente se observan arenas hacia la base (LEV III, 1997). Se cree que fue depositada en un ambiente marino nerítico, en aguas someras y condiciones de corriente típicas de llanuras de marea. Se supone que el espesor de esta formación es mayor a 1827 m, presentando un contacto concordante en la base con la Formación Hato Viejo y un contacto erosional en el tope con los sedimentos Pre-Cretácicos (Grupo Temblador), sin embargo en la zona en estudio el contacto en el tope es erosional con la Formación Ipire.

2.3.3 *Formación Ipire (jurásico medio-tardío)*

Esta formación posee un espesor de 1540 m según datos de pozo y según Moticska (1985), está compuesta por una colada de lava basáltica de 113 m de espesor cercana al tope de la formación, contenida en una secuencia alternantes de are

niscas, arcosas, limolitas, lutitas y ocasionales intercalaciones conglomeráticas, de persistente color marrón rojizo en diferentes tonalidades (LEV III, 1997).

2.4 Grupo Temblador

2.4.1 Formación Canoa (aptiense-albiense)

Kiser (1987) describe la Formación Canoa en el Área de estudio como arenas fluviales masivas no consolidadas, con un espesor promedio de 90 m, que adelgaza hacia el Sur, en contacto inferior discordante y superior transicional, acuñándose de forma erosional y estratigráfica contra el Escudo de Guayana. Aparentemente esta secuencia también se acuña estratigráficamente contra el Arco del Baúl.

La presencia de conglomerados y restos de plantas sugieren la depositación de esta secuencia en ambientes continentales (Hedberg y Funkhouser, 1947).

2.4.2 Grupo Temblador, Formación Tigre (albiense-santoniense)

La Formación Tigre es de edad variable entre el Albiense y el Santoniense con un hiatus en el Cenomaniense. Esta formación está compuesta por los miembros La Cruz, Infante y Guavinita, descritos a continuación:

(a) Miembro La Cruz: en su parte inferior se compone de areniscas lenticulares, caoliníticas, de grano grueso, con intercalaciones de lutitas negras; en su parte superior se inicia con una lutita negra fosilífera y continua con areniscas de grano fino, calcáreas y glauconíticas que presenten intercalaciones delgadas de lutitas muy fosilíferas (Patterson y Wilson, 1953).

(b) Miembro Infante: Patterson y Wilson (1953) lo describen como una caliza densa, compacta y fosilífera. Hacia el Sur se va haciendo más arenoso hasta convertirse en arenisca que no se puede diferenciar de los miembros La Cruz y Guavinita.

(c) Miembro Guavinita: según Patterson y Wilson (1953), está constituido por un intervalo basáltico- lutítico de 15 m de espesor, seguido de intercalaciones de areniscas, lutitas, margas, calizas delgadas y ftanitas negras, con restos de peces y/o nódulos fosfáticos, con un espesor de unos 30 m.

El contacto inferior de la Formación Tigre es diacrónico y transicional sobre los sedimentos continentales de la Formación Canoa. El contacto superior con la Formación La Pascua es discordante, de tipo erosional, correspondiente a un hiatus de duración considerable (González de Juana et al., 1980).

2.5 Formación La Pascua (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano)

En Mencher et al. (1953) se describe la Formación La Pascua como areniscas y lutitas oscuras, con algunos lignitos, además, Isea (1987) afirma que son areniscas regionales transgresivas en la forma de barras litorales, depósitos de marea o de playa, con algunas lutitas de laguna o estuarios, con orientación preferencial Este-Oeste; observándose un espesor máximo de 137 m en el área de estudio. El contacto superior de esta formación es transicional hacia la Formación Roblecito, y su contacto inferior es una discordancia angular sobre las formaciones cretácicas.

2.6 Formación Roblecito (Eoceno Tardío-Mioceno Temprano)

Patterson y Wilson (1953) definen la Formación Roblecito en el subsuelo como una lutita gris a gris oscuro y se destaca en el LEV III (1997) que ésta posee un espesor variable entre 460-580 m en el área mayor de Las Mercedes (al norte del Área Boyacá), se encuentra en contacto transicional con la Formación La Pascua (infrayacente) y con la Formación Chaguaramas (suprayacente). El ambiente asociado a esta formación es de plataforma media a externa, con períodos de talud en

el Oligoceno.

2.7 Formación Chaguaramas (Oligoceno Tardío-Mioceno Medio)

La descripción litológica que dan Patterson y Wilson (1953) a esta formación corresponde a una secuencia de areniscas, lutitas y lignitos. En el Área Boyacá, Kiser (1987) menciona un engrosamiento de las areniscas hacia la base de la formación, lo que podría estar asociado a la cresta del Arco del Baúl. Este es un hecho muy importante ya que estas arenas pueden representar grandes yacimientos de petróleo y gas en la zona en estudio. Isea (1987) considera que esta formación representa la parte superior del ciclo de sedimentación Oligoceno, y corresponde al período regresivo después del tiempo de la Formación Roblecito, correspondiendo sedimentológicamente con barras de desembocadura ligeramente retrabajadas, interestratificadas con depósitos de pantano, relleno de bahías interdistributarias. El contacto basal de la Formación Chaguaramas es concordante y transicional con la Formación Roblecito, en cambio su parte superior ha sido erosionada.

2.8 Síntesis estructural del Área Boyacá-Área Junín

Sucesivos movimientos tectónicos de intensidad variable han afectado la Subcuenca de Guárico desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. En las rocas paleozoicas, grandes movimientos tectónicos dieron origen a plegamientos, fallamientos e intrusiones ígneas con bajo metamorfismo asociado. Debido a estos esfuerzos se formaron dos sistemas de fallas normales: uno principal y uno secundario. Las fallas del sistema principal poseen una orientación N67E con desplazamientos y extensión de gran magnitud, de los cuales destacan los sistemas de Altamira, Machete y Sabán Ruiz. El sistema secundario posee una orientación N67O y se asocia con los sistemas primarios donde las fallas de Sabán y Altamira constituye

los límites del Graben de Espino (PDVSA (1983),

La secuencia cretácica alcanza su máximo espesor en el Norte de la Cuenca, debido a que al iniciarse la sedimentación en el Cretácico la Cuenca se inclinó hacia el Norte. Por el levantamiento se reactivaron algunas de las fallas paleozoicas principales (Machete y Sabán-Ruiz) y otras menores del sistema secundario, a la vez que se formaban nuevas fallas normales siguiendo la misma orientación (PDVSA, 1983). A este levantamiento le siguió un periodo de fuerte erosión.

La Cuenca cambió de posición antes de iniciarse la sedimentación de las formaciones terciarias, al inclinarse hacia el N25O, donde el Terciario alcanza su mayor espesor.

Como resultado de la Orogénesis Andina la Cuenca basculó hacia el Este, reactivando las fallas paleozóicas, algunas de Cretácico, y formando en este proceso las fallas terciarias.

Estructuralmente y de acuerdo a De Rojas (1987) en el nivel de la Formación Oficina y el Grupo Temblador, el flanco presenta un buzamiento entre 0.5° a 3° hacia el Noreste, formando un monoclinal cortado por un sistema de fallas normales con arreglo en echelon. Las fallas, principalmente están orientadas de Norte a Sur y con buzamiento Noroeste y poseen un desplazamiento vertical menor a 61 metros. El fallamiento es más intenso hacia el Norte del área, aunque el principal mecanismo de entrapamiento es estratigráfico, también las acumulaciones están influenciados localmente por las fallas.

2.8.1 Graben de Espino

Según PDVSA (1983), esta estructura geológica es la expresión del sistema extensional dominante en la zona de interés, la cual posee una orientación N67E, y espesor determinados por sísmica de más de 8000 pies en el Paleozoico, con un relleno de clásticos de la Formación Ipire (Jurásico) con un espesor máximo de 6000

pies. El Graben de Espino se interpreta como un sistema antiguo de valles de rift, el cual puede estar asociado con los movimientos tensionales de las placas tectónicas en el Mesozoico Inferior, post o contemporáneo con la sedimentación del Jurásico.

El límite Sur de esta estructura lo define la falla de Altamira, y su límite Norte las fallas Sabán-Ruiz y Machete. El límite Noreste es desconocido pero los estudios aeromagnéticos de la zona sugieren la probable extensión bajo el área Junín hacia Anaco y Barcelona en Anzoátegui (PDVSA, 1983).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Conceptos básicos

3.1.1 Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas que normalmente son detectadas y grabadas, pueden ser vistas como señales analíticas, con una parte real y otra imaginaria, de las cuales solo la parte real es detectada y mostrada. Esto es equivalente a un factor dependiente del tiempo. Bajo este punto de vista la traza sísmica ($g(t)$) puede ser expresada como:

$$g(t) = R(t)\cos\theta(t) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde, $R(t)$ es la envolvente de la traza sísmica y $\theta(t)$ es la fase.

Podría imaginarse un vector perpendicular al eje del tiempo (figura 3.1) cuya longitud varía con el tiempo; además este vector rota alrededor de dicho eje como función del mismo.

La proyección de este vector rotante en el plano real es la traza sísmica convencional y la proyección en el eje imaginario es la traza cuadratura ($h(t)$).

$$h(t) = R(t)\sin\theta(t) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Al aplicar la transformada de Hilbert se puede generar la traza cuadratura a partir de la traza real observada. (Taner y Sheriff, 1977).

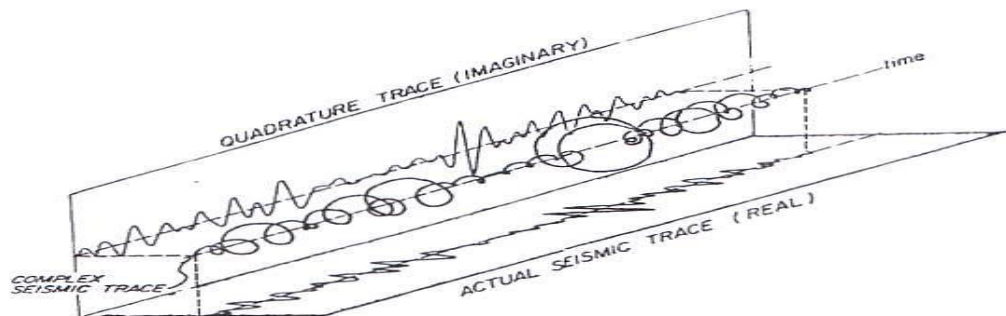


Figura. 3.1. Componentes real e imaginaria de la Traza sísmica Compleja (Modificado de Sheriff, 1977))

Según Sheriff (2002), una ondícula es un pulso sísmico que consiste generalmente de algunos pocos ciclos. En la construcción del sismograma sintético la selección de la ondícula es muy importante, por lo que los software requieren que se especifique una ondícula teórica o extraída de la sísmica, para que la calidad del ajuste de las secciones sísmicas con los datos de los pozos sea buena.

Además, Liner (2004) refiere que para la interpretación sísmica es conveniente el uso de ondículas fase cero, debido a que:

- (a) Son semejantes a un pulso (bastante agudas).
- (b) Son simétricas por lo que se obtiene una resolución vertical óptima.
- (c) Su amplitud pico se observa en el centro de la ondícula.

3.1.2 El sismograma sintético

El sismograma sintético, de acuerdo a Liner (2004), consiste en simular, una traza sísmica 1D de offset cero, que teóricamente haya sido grabada en la posición del pozo, basada en sus respectivos registros de grabación.

Para construir un sismograma sintético se debe asumir lo siguiente:

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

De estas asunciones, lo más difícil es concebir un buzamiento geológico cero, ya que la estructura en el subsuelo normalmente no se comporta así. Esto implica que los tiempos de viaje vertical del sintético no sean tiempos de tránsito físicos, aunque si los datos de campo concernientes a las localizaciones de pozo, han sido correctamente migrados, representarán tiempos de viaje verticales que pueden ser amarrados al sintético (Liner, 2004).

3.1.3 *Modelo convolucional de la traza sísmica*

Liner (2004), expresa que el modelo convolucional es la conexión fundamental entre la ondícula, traza sísmica y serie de reflectividad, la que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$p(t) = w(t) * r(t) + n(t) \text{ (Ecuación 3)}$$

donde:

$p(t)$ la traza sísmica o sismograma.

$w(t)$ la ondícula,

$r(t)$ la serie de reflectividad o coeficientes de reflexión,

$n(t)$ el ruido y el asterisco (*) representa la convolución.

Esta ecuación es base fundamental de todos los estudios de interpretación sísmica, ya que con ella se define completamente la traza sísmica, y a la vez se obtiene la relación proporcional entre la amplitud de la traza y el coeficiente de reflexión.

3.1.4 *Problemas en los sismogramas sintéticos*

Los sismogramas sintéticos rara vez coinciden perfectamente con los datos de campo. Las razones de esto, fue resumida por Liner (2004) y se muestran a continuación : Frecuencia: el rango de frecuencia de los registros sónicos opera en kilohertz (alta frecuencia y baja longitud de onda), mientras que el de la sísmica generalmente está en un rango de 10 a 19 Hz siendo de baja frecuencia y gran longitud de onda.

Anisotropía: los registros sónicos miden las velocidades en dirección vertical, mientras que las ondas sísmicas viajan en una amplia variedad de ángulos medidos desde la vertical, dependiendo del medio y de la dirección del viaje de la onda, obteniéndose velocidades sísmicas y sónicas diferentes.

Problemas del hoyo: los registros sísmicos pueden estar influenciados por la zona lava da, mientras que las ondas de gran longitud de onda en la sísmica no lo estarían. En base a esto los datos del tiro de verificación sísmica (TVS) también pueden estar contaminados, para ello Box y Lowrey (2003) explican que para poder darles uso se debe filtrar los registros, rechazando los TVS que no se puedan emplear además de aplicar las correcciones ambientales y de dispersión a los registros sísmicos.

Ondícula: independientemente de ser extraída de la sísmica o indicada por el usuario la ondícula presenta algunos inconvenientes, ya que al viajar por el subsuelo varía.

3.1.5 *Modelo del subsuelo.*

Para crear un sintético o convertir la información del pozo de profundidad a tiempo, es necesario conocer el modelo de velocidad en función de la profundidad.

Este modelo puede venir de diversas fuentes (perfil sísmico vertical, registro sísmico, puntos de verificación sísmica y velocidades de procesamiento). También es necesario tener información de densidades del subsuelo en el pozo (RHOB). (Liner, 2004).

Se supone que la Tierra está compuesta por capas horizontales, cada una con velocidades, densidades y espesores estimados a partir de los registros usados para la creación del sismograma sintético. Por lo tanto, si se toma un modelo de capas basado en las variaciones del registro sísmico, dicho modelo puede tener varios cientos de capas, ya que en estos registros se toman cinco muestras por metro (Op. Cit).

3.1.6 *Tiempos de viaje*

La creación del sismograma sintético requiere del menor tiempo de viaje de las ondas sísmicas desde la fuente hasta el receptor (offset cero), el cual se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Tiempo} = (\text{Distancia/Velocidad}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Primero se reemplaza en la fórmula anterior y luego se calcula el tiempo doble de viaje en la primera capa (TWT₁) resultando:

$$TWT_1 = 2H_1/V_1 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

siendo H₁ el espesor de la capa 1 y V₁ la velocidad en la capa 1. Para calcular el tiempo doble de viaje para la segunda interfase (TWT₂), se usa:

$$TWT_2 = 2H_1/V_1 + 2H_2/V_2 = TWT_1 + 2H_2/V_2 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Generalizando para la enésima interfase

$$TWT_n = TWT_{n-1} + 2H_n/V_n \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Usando esta ecuación generalizada para todas las interfases, se definen los tiempos de reflexión asociados a cada interfase, lo cual ubica los puntos en el eje del tiempo donde se calcularán los coeficientes de reflexión, para continuar con la construcción de la traza sintética.

3.1.7 *Impedancia Acústica.*

La impedancia acústica (Z) es la multiplicación del valor local de la velocidad de la onda P con la densidad de la roca (figura 3.2).

$$Z = \rho * V_p \quad (\text{Ecuación 4})$$

Debido a que la impedancia es función de la densidad y la velocidad y estos parámetros dependen de la porosidad, litología, tipo de fluido dentro de la roca, saturaciones entre otros, resulta de utilidad para predecir cambios en secciones y mapas (producto de inversiones sísmicas) de dichos parámetros, aunque debe ser visto con cuidado ya que más de uno de estos parámetros puede variar al mismo tiempo dentro del yacimiento.

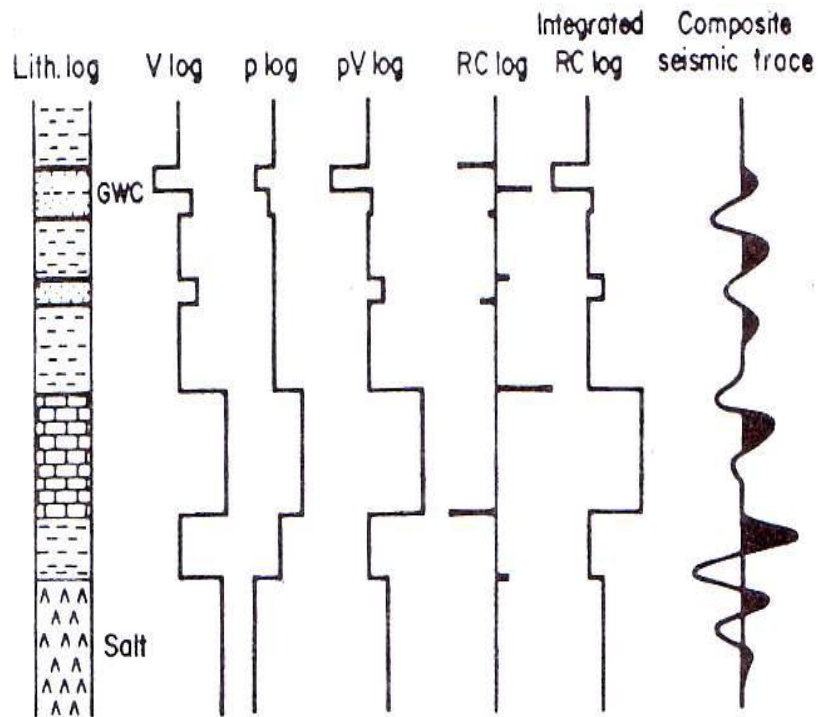


Fig. 3.2. Composición de una traza a partir de los contrastes de velocidades y densidades (Modificado de Tearpock, 1991).

3.1.8 Coeficientes de Reflexión.

El coeficiente de reflexión es la relación existente entre las amplitudes de la onda reflejada e incidente. Se supone que la onda incidente tiene una magnitud de uno, la reflejada R y la transmitida $1-R$.

El coeficiente de Reflexión (R) es una función de las velocidades y las densidades de dos medios adyacentes a una interfaz. Para una onda viajando de un medio 1 y reflejada desde una interfaz de un medio 2, R está dado por:

$$R = (\rho_2 \cdot v_2 - \rho_1 \cdot v_1) / (\rho_2 \cdot v_2 + \rho_1 \cdot v_1) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Los valores típicos de R son aproximadamente -1 del agua al aire, que significa que cerca del 100% de la energía es reflejada y ninguna es transmitida; aproximadamente 0.5 del agua a la roca; y aproximadamente 0.2 de la lutita a la arena

A incidencia no normal el coeficiente de reflexión definido como una relación de amplitudes depende de otros parámetros, tales como las velocidades de ondas S y es descrita como función del ángulo de incidencia por las ecuaciones de Zoeppritz.

Al calcular R para cada interfase en el modelo de capas sustentado en las variaciones del registro sísmico y al asignarlo a su respectivo tiempo de viaje se obtiene la serie de reflectividad.

3.1.9 Resolución Sísmica Vertical

Se entiende como resolución sísmica vertical la menor distancia vertical entre dos interfaces litológicas que produce dos reflexiones discretas, las cuales pueden separarse visualmente.

En sísmica la resolución vertical concierne al espesor mínimo de una capa, en la cual las reflexiones provenientes de su tope y de su base pueden ser distinguidas.

El criterio de Rayleigh establece que el límite de resolución es de un cuarto de la longitud de onda dominante. (Sheriff, 1997) (fig. 3.3) y el límite definido por Widde es igual a un octavo de la longitud de onda ($\lambda/8$).

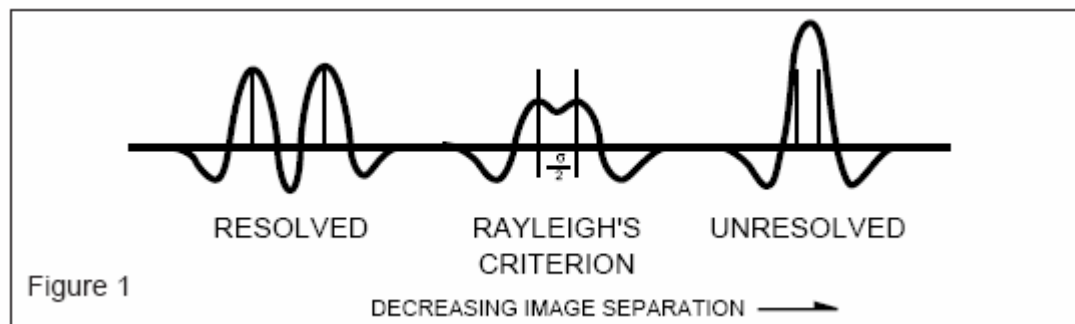


Fig 3.3. Criterio de resolución. (Modificado de Sheriff, 1997).

3.1.10 *Inversión sísmica*

La Inversión sísmica estratigráfica consiste en obtener la impedancia del subsuelo a partir de datos sísmicos de un ancho de banda limitado.

El principal objetivo de la inversión sísmica es transformar reflexiones sísmicas en propiedades de roca que permita la descripción de un yacimiento. Entre los beneficios de la inversión sísmica se tiene los siguientes (Pendrel, 2001):

- (a) Se reducen los efectos producidos por la ondícula.
- (b) Existe la posibilidad de extender la data fuera del ancho de banda de la sísmica.
- (c) Variaciones areales en la impedancia acústica pueden revelar cambios en litología y porosidad, permitiendo la predicción de propiedades del yacimiento como la porosidad, espesor de arena entre otros.
- (d) Permite atenuar el ruido aleatorio.

3.1.11 *Entonamiento (tuning)*

Sheriff (2002) define el efecto de entonamiento como la interferencia constructiva o destructiva resultado de dos o más reflectores espaciados una distancia menor a un cuarto de la longitud de onda dominante. La ondícula compuesta resultante posee una amplitud y fase que dependen de los tiempos de retraso en las llegadas entre las sucesivas reflexiones, la magnitud y polaridad de sus coeficientes de reflexión asociados, y también dependen de la forma de la envolvente de la ondícula.

Si la interpretación sísmica se realiza con fines de cartografiar eventos de espesor igual o menor al espesor de entonamiento, se vuelve muy importante el estudio de la fase de la ondícula, ya que la anomalía producida sería indistinguible de una reflexión simple convolucionada con una ondícula con fase 90°.

3.2 *Estructura*

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

3.2.1 *Detección y cartografiado de fallas*

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

3.2.2 *Interpretación de horizontes*

Se debe cartografiar los patrones de falla antes de propagar los horizontes porque las fallas generalmente dividen en bloques la zona donde se encuentran los datos. El objetivo es crear un mapa estructural en tiempo que represente la geometría de la superficie de reflexión (Liner, 2004), por lo que, se puede usar la técnica de autopicking para propagar los eventos de interés y así armar el mapa compuesto por todos los Bloques.

3.3 Conversión tiempo-profundidad

Según Liner (2004), la conversión tiempo profundidad es el proceso de combinar la estructura en tiempo sísmico, control de pozo y velocidades para crear un mapa o volumen estructural en profundidad. Para convertir a profundidad hay que tomar en cuenta el tipo de migración aplicada antes de la interpretación, así como la fuerza en las variaciones laterales de velocidad en el subsuelo y la cantidad de pozos en el área.

3.4 Estratigrafía sísmica

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

3.4.1 Procedimiento de interpretación sísmica

Bally (1987) propuso que en todo proceso de interpretación se debe englobar los siguientes aspectos:

- (a) Análisis sísmico secuencial.
- (b) Análisis de registros de pozo.
- (c) Sintético: amarre de la sísmica al pozo.
- (d) Análisis de facies sísmica.
- (e) Interpretación de ambientes depositacionales y litofacies.
- (f) Modelaje sísmico directo.
- (g) Interpretación final.

3.4.2 *Secuencias sísmicas y patrones de reflexión*

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

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

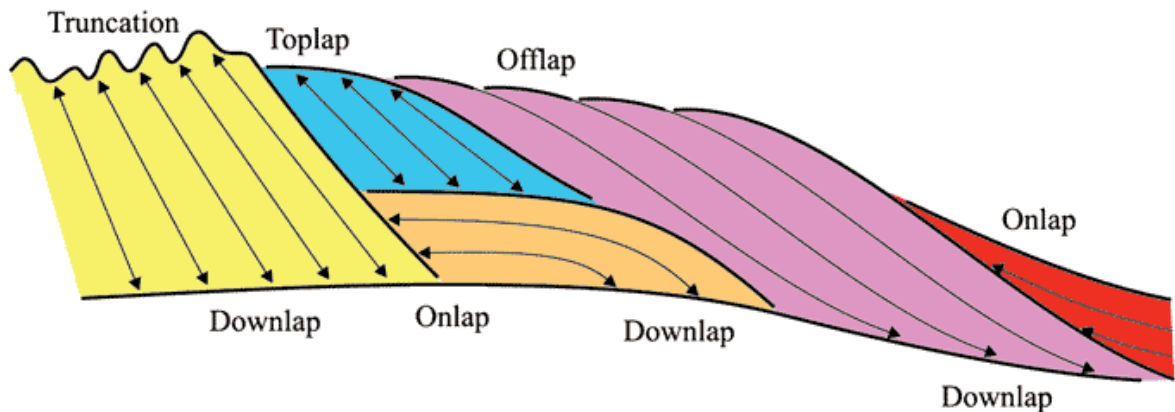


Figura 3.4. Patrones de reflexión. (Tomado de Mitchum, 1977).

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

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

3.5 *Parámetros sísmicos*

Los parámetros sísmicos son descritos en Bally (1987) como una serie de factores que dependen de las características de la onda, los cuales varían a través del medio sedimentario. Los más usados son:

1. Geometría del reflector dentro de la secuencia o sistema encadenado.
2. Amplitud de la onda.
3. Continuidad.
4. Disposición de las secuencias.
5. Velocidad intervállica

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En la presente investigación se desarrolló la base metodológica para ejecutar la secuencia de interpretación sísmica siguiendo los pasos recomendados por Bally (1987) y Liner (2004).

4.1 Elaboración de base de datos

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

Se realizó el inventario de un total de 38 pozos dentro y fuera del área de estudio, desglosados de la siguiente manera: 5 pozos en el Bloque Boyacá 5, 4 en el Bloque Boyacá 6, 4 en Bloques colindantes al Oeste del área de Boyacá y 1 al Sur del área de Boyacá en estudio, 9 pozos en el Bloque Junín 1, 6 en el Bloque Junín 2 y 9 pozos cercanos al este del área de Junín en estudio.

Los pozos fueron agrupados inicialmente en base a los que tenían registros de tiros de verificación de sísmica y los que no. Todos los pozos seleccionados poseen interpretación geológica por secuencias y sus respectivos registros asociados en formato “.las”, lo que facilitó la correlación sísmica-pozos (Tabla 1).

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

De igual manera se realizó el inventario de un total de 63 líneas sísmicas 2D dentro y alrededor de los bloques en estudio.

Las líneas sísmicas fueron agrupadas según su tipo de procesamiento (apilada, migrada post-apilamiento con post-procesos) y sus parámetros de adquisición (Tabla 2), además, como estas líneas sísmicas pertenecen a tres campañas

diferentes de adquisición se calculó tres tipos de resolución sísmica vertical, una por cada campaña (Tabla 3).

TABLA 1. Inventario de curvas de interés en los pozos

Pozos	Año	Registros asociados	TVS
J28	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	No
J19	1980	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J221	2007	CALI, DT, GR, ZDEN, ZCOR	Si
J115	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB	No
J25	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J252	2008	DT, GR, RS, ZDEN, CAL, ZCOR	Si
J51	1981	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J222	2007	DT, GR, RS, ZDEN, CAL, ZCOR	Si
J45	1981	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J23	1980	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J263	2008	GR,RS,ZDEN,CAL,ZCOR,DT24AQI	Si
J254	2008	CALI, DT, GR, RS, ZDEN, ZCOR	Si
J242	2007	GR, RHOZ, HDRA	Si
J105	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J232	2007	GR, DT1, RHOZ, HDRA, DT4P, RLA1	Si
J103	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J99	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB	Si
J262	2008	GR, RHOZ, HDRA, RLA1	No
J95	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB, RS	Si
J93	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, RHOB, RSN	No
J94	1982	CALI, DRHO, DT, GR, RHOB, RS	No
J132	1982	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	No
J250	2007	GR, RHOZ, HCAL, RD1, DT2, DTCO	Si
M719	1983	CALI, DT, GR, RS, DEN	Si
M81	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	Si
M82	1981	DT, GR, ILD, CALI	Si
M84	1982	DRHO, DT, GR, ILD, CAL, GR3	Si
M116	1982	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	Si
M122	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, CAL	Si
M113	1981	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	Si
M121	1980	DT, GR, ILD, RHOB, CAL	Si
M123	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	Si
M124	1980	CALI, DRHO, DT, GR, ILD, CAL	Si
M126	1981	CALI, DT, GR, ILD, RHOB	Si
M161	1981	CALI, DRHO, DT, GR, ILD	Si

TABLA 2. Parámetros de grabación y versión de las líneas sísmicas.

Levantamiento 2D	Campaña de Adquisición	Intervalo de muestreos (ms)	Tiempo de registro (S)	Versión
ZG	1975	2	5	Apilada
P	1981	4	05-Jun	Apilada
FP	1972	4	5	Apilada
SEG	1980	4	05-Jun	Apilada
JUN	2007	1	8	Migrada post apilamiento con post procesos
ZT	1973	4	05-Ene	Apilada
ZSW	1982	4	05-Jun	Apilada

TABLA 3. Secuencia de procesamiento de las diferentes campañas (Continuación)

Campaña 1971-1975	Campaña 1979-1982	Campaña 2007
Entrada analógica	“Datum”: 170 m	Geometría
Estática de elevación	Demultiplex	Pre procesamiento
Análisis de velocidad	Correlación Vibroseis	Estáticas de elevación
Estáticas automática neta	Filtro de fase	Edición de trazas y “spikes”
Apilamiento CRP	Edit	Compensación de ganancia por divergencia esférica e inelástica
Igualación de trazas	Ganancia	Eliminación de Ground Roll y/o ruido aleatorio
Filtro de frecuencia digital	Estáticas de “datum”	Ordenamiento de los datos por
Deconvolución	Filtro de coherencia	Deconvolución y ganancia
	Deconvolución antes de apilar	Análisis de velocidades 2D – paso 1
	Sort	NMO- apilamiento preliminar
	Análisis de velocidad inicial	Cálculo y aplicación de estáticas residuales consistentes con superficie 2D
	Corrección NMO	Deconvolución Post – apilamiento
	Enmudecimiento	FX-Decon/Filtro Tau-P/equivalente

TABLA 3. Secuencia de procesamiento de las diferentes campañas

Campaña 1971-1975	Campaña 1979-1982	Campaña 2007
	Estáticas residuales	Filtro pasa banda
	Análisis de velocidad final	Ganancia
	Control automático de ganancia	Interpolación o decimación de los datos
	Apilamiento	Construcción del campo de velocidades
	Deconvolución después de apilar	Migración final
	Filtro variable en tiempo	FX-Decon/Filtro Tau-P/equivalente
	Igualación de trazas	Filtro pasa banda
		Ganancia
		Migración pre apilamiento en tiempo (Kirchhoff). (Fase 2)
		Aplicación de
		Construcción del campo de velocidades
		Corrección por factor de anisotropía
		Aplicación de atenuadores de ruido. Migración final (algoritmo Kirchhoff)

4.1.1 Control de calidad de los datos de entrada

La calidad de la sísmica adquirida entre el periodo 1970-1975 Y 1979- 1982 es considerada de regular a pobre, ya que no permite determinar con claridad los eventos sísmicos ni la geometría estructural.

Por otro lado, la calidad de las líneas sísmica 2D de la campaña de adquisición del año 2007 tiene problemas de cobertura, ya que se ve afectada por la presencia de gran cantidad de morichales en la zona, generando una serie de zonas sin información en la mayoría de las líneas (figura 4.1).

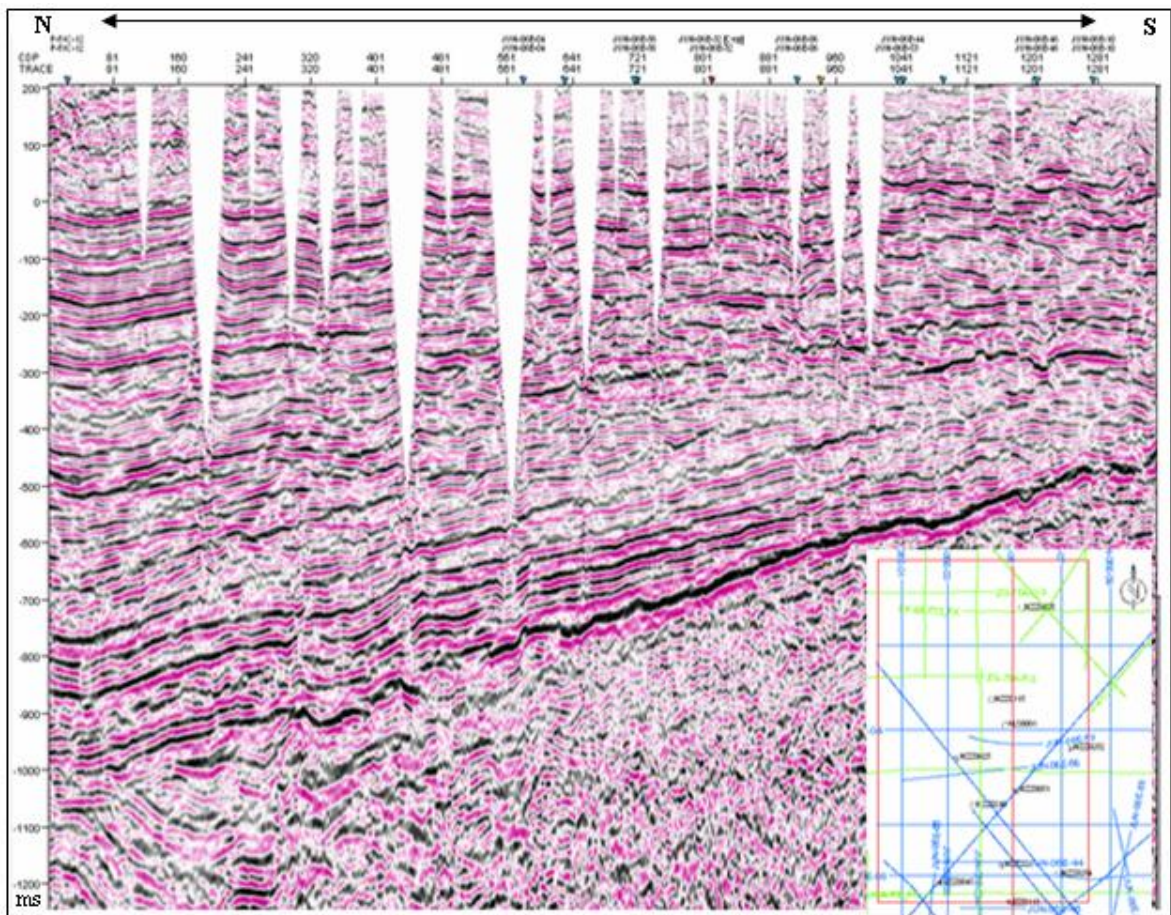


Figura 4.1. Línea sísmica N-S perteneciente a la campaña 2007 (Tomado de memoria descriptiva, Bloque Junín, 2008)

4.2 Interpretación sísmica

4.2.1 Selección de líneas sísmicas

Se seleccionó los transectos más regionales sobre el área de estudio con mayor cantidad de pozos coincidentes sobre las líneas sísmicas como se observa en el mapa base (figura 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5).

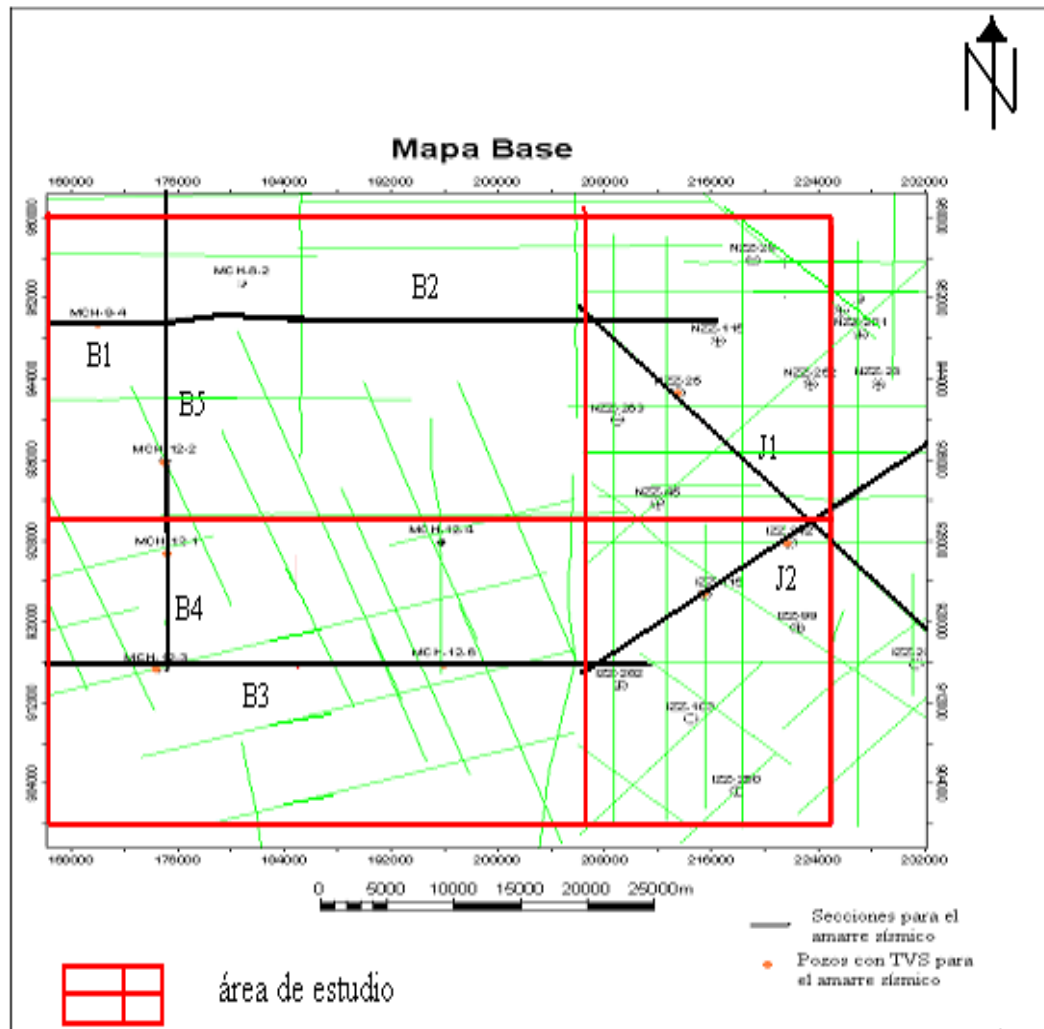


Figura 4.2. Mapa base. En negro transectos regionales para el amarre de la sísmica.

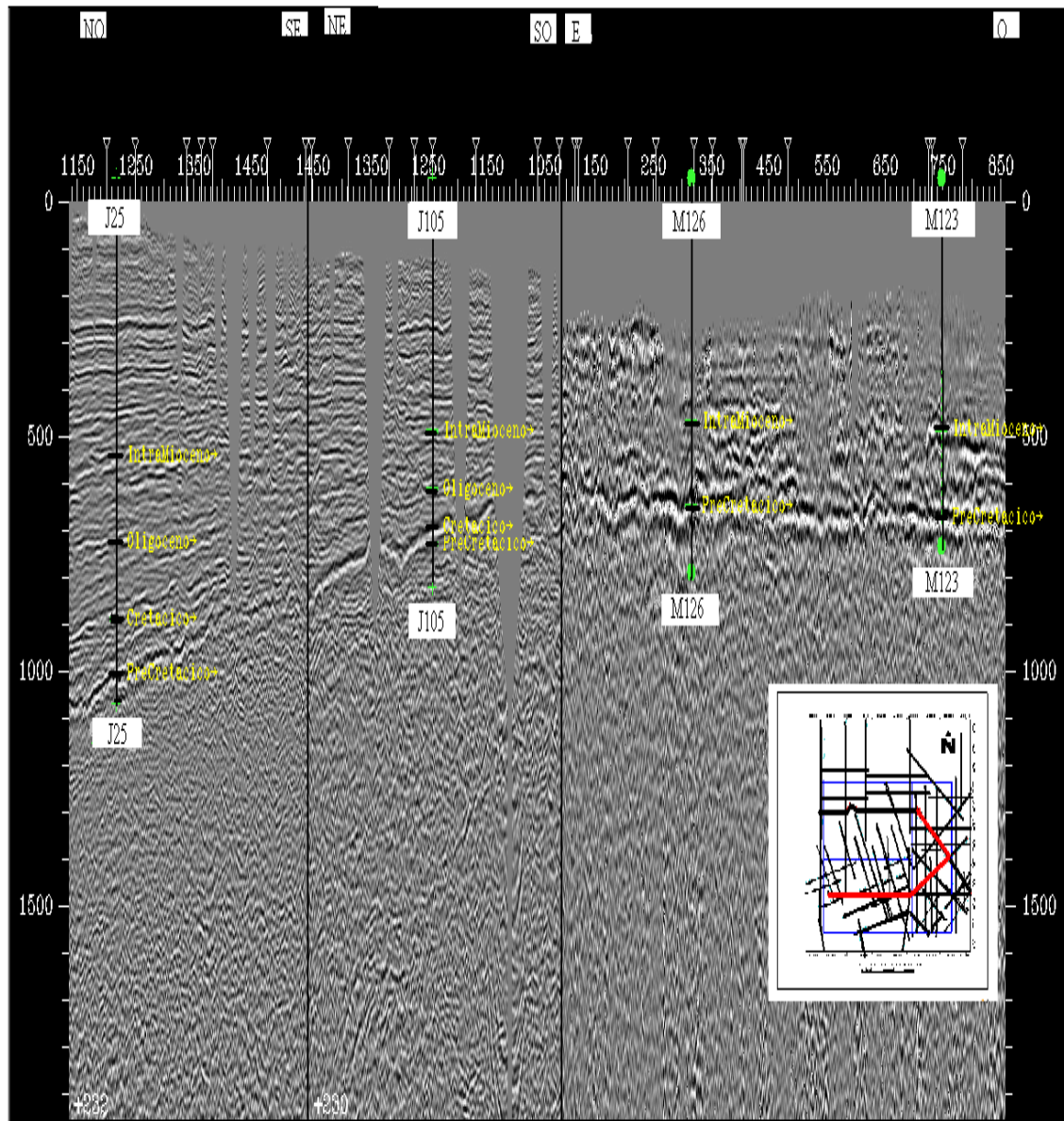


Figura 4.3. Transecto regional formado por las líneas sísmicas J1; J2 y B3 sin interpretar donde se observan los pozos M123, M126, J105 y J242 en negro. En rojo ubicación del transecto.

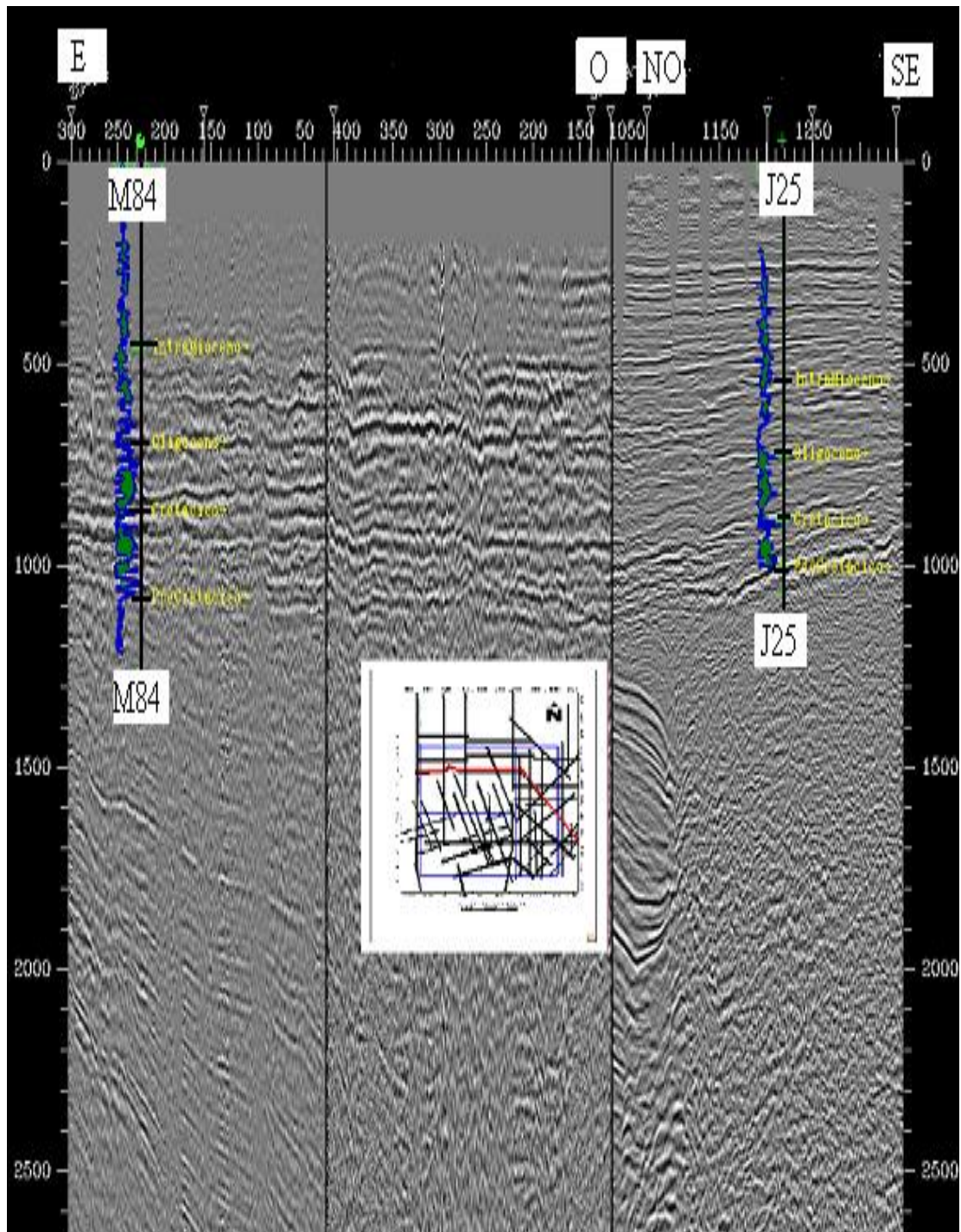


Figura 4.4. Transecto o sección sísmica B1, B2 y J1 sin interpretar. En negro pozos M84 y J25. En rojo ubicación del transecto y en azul-verde curva de rayos gamma.

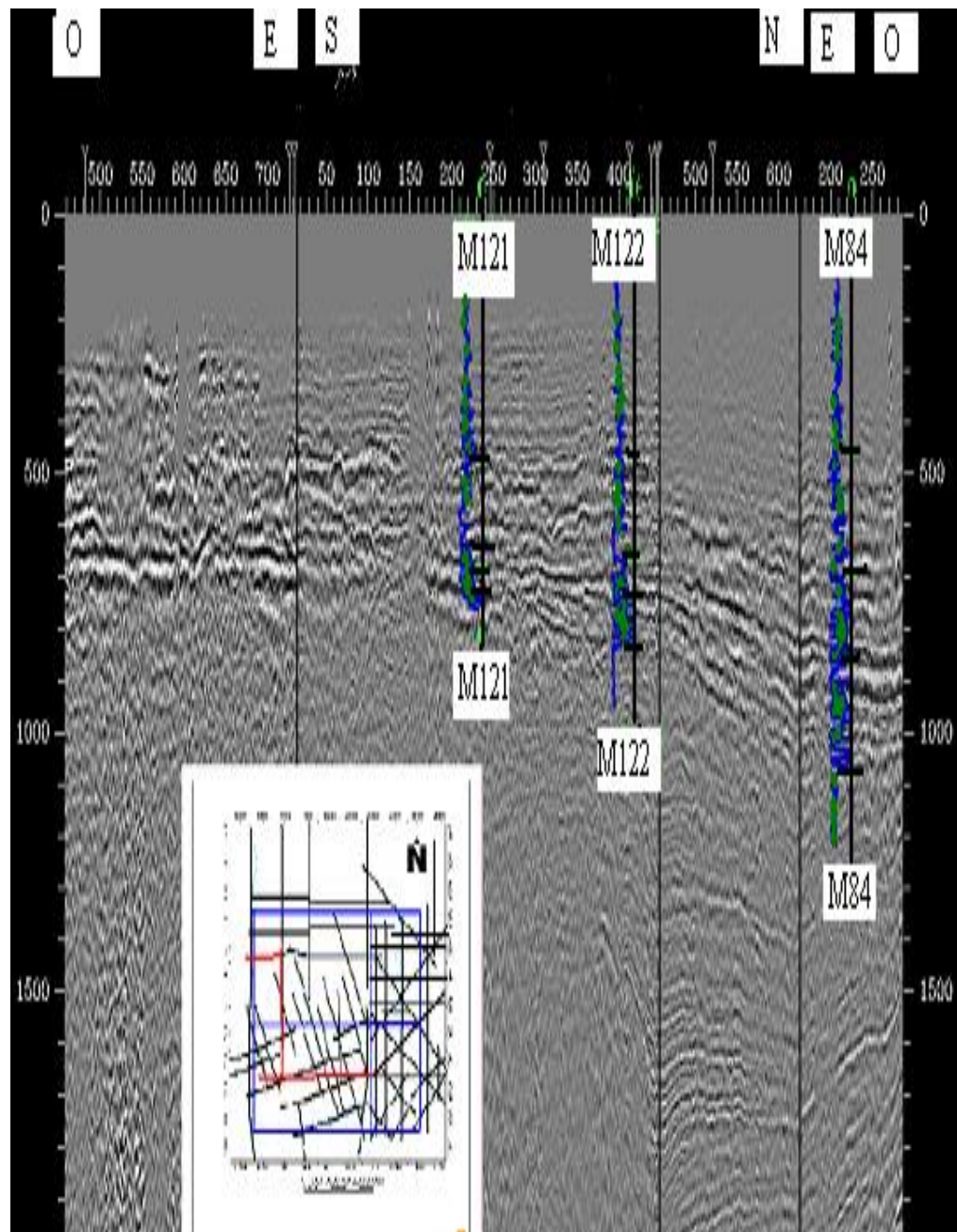


Fig. 4.5. Transecto o sección sísmica B3, B4, B5 y B1 sin interpretar. En negro pozos M121, M122 y M84; en azul-verde curva de rayos gamma y en rojo ubicación del transecto.

Los transectos de la misma campaña fueron ploteados en papel para tener una mejor visualización y así poder identificar patrones de reflexión característicos para cada horizonte a interpretar, (figura 4.6 y 4.7) en especial, para definir bien el tope precretácico, y amarrar adecuadamente la sísmica mediante la corrección del tiempo de desfase entre líneas sísmicas que se cruzan.

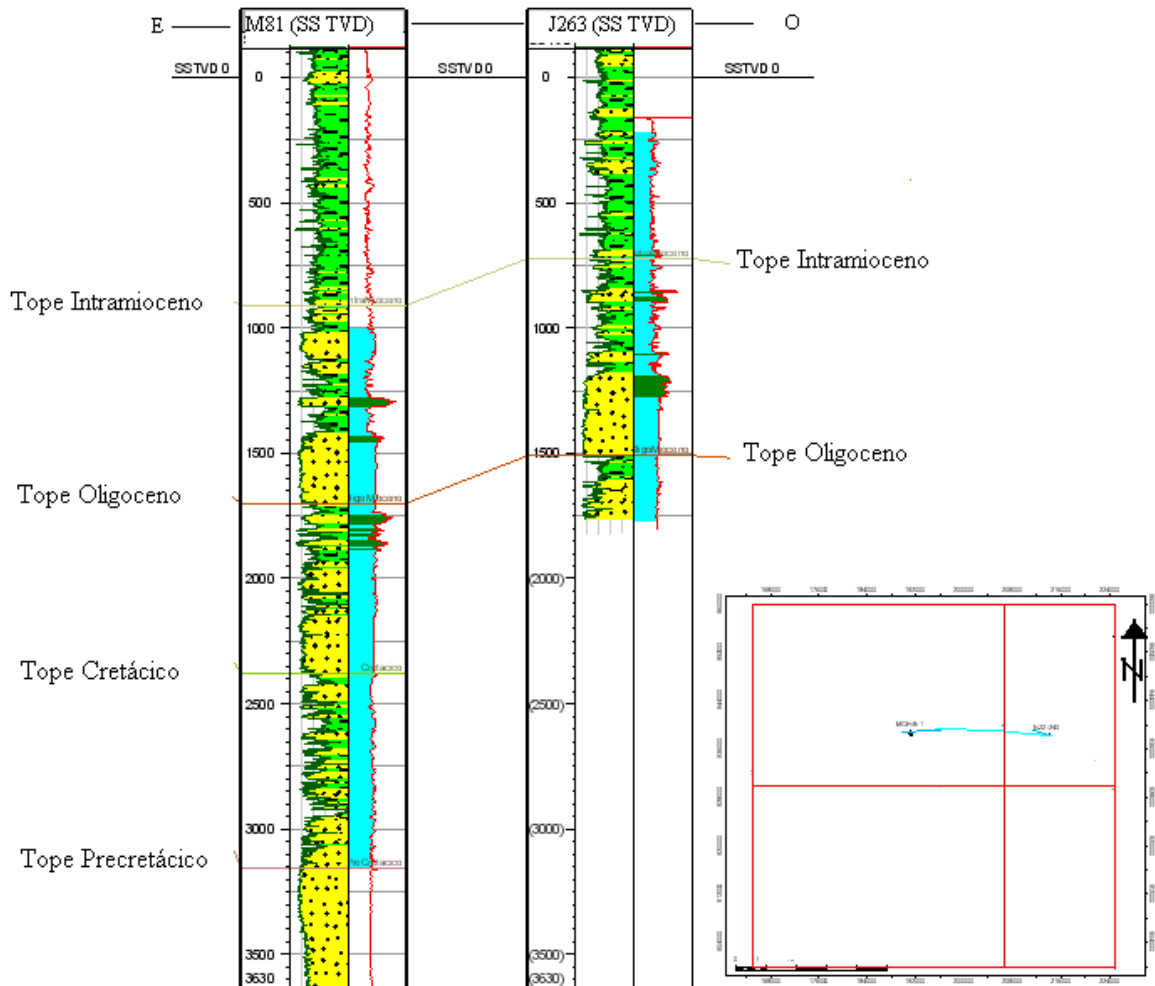


Figura 4.6. Sección estratigráfica E-O. Pozos M81 y J263

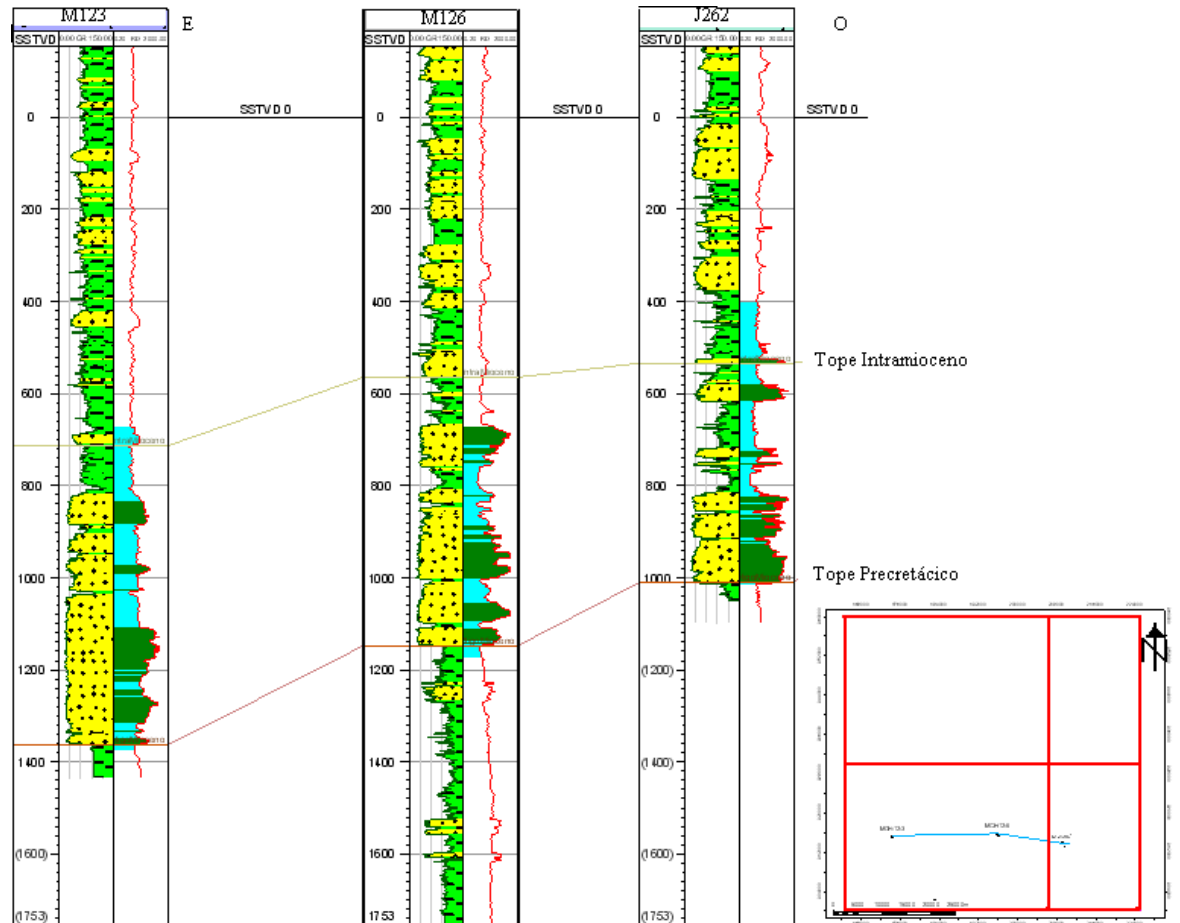


Figura 4.7. Sección estratigráfica E-O. Pozos M123, M126 y J263

De igual manera permitió visualizar las fallas presentes en las referidas secciones sísmicas.

Una vez finalizado éste análisis se transfirió la información a la plataforma computacional de interpretación para iniciar el proceso de interpretación.

4.2.2 Ajuste de desfase entre líneas sísmicas

Los transectos seleccionados previamente sirvieron de base para la identificación de reflectores, teniendo especial interés la delimitación del horizonte más profundo (Precretácico) y de mayor contraste de impedancia acústica (visualmente el más iluminado), el cual sirvió de marcador para corregir y ajustar el resto de las líneas sísmicas del proyecto en función del marcador del tope precretácico ya definido (figura 4.8 y 4.9).

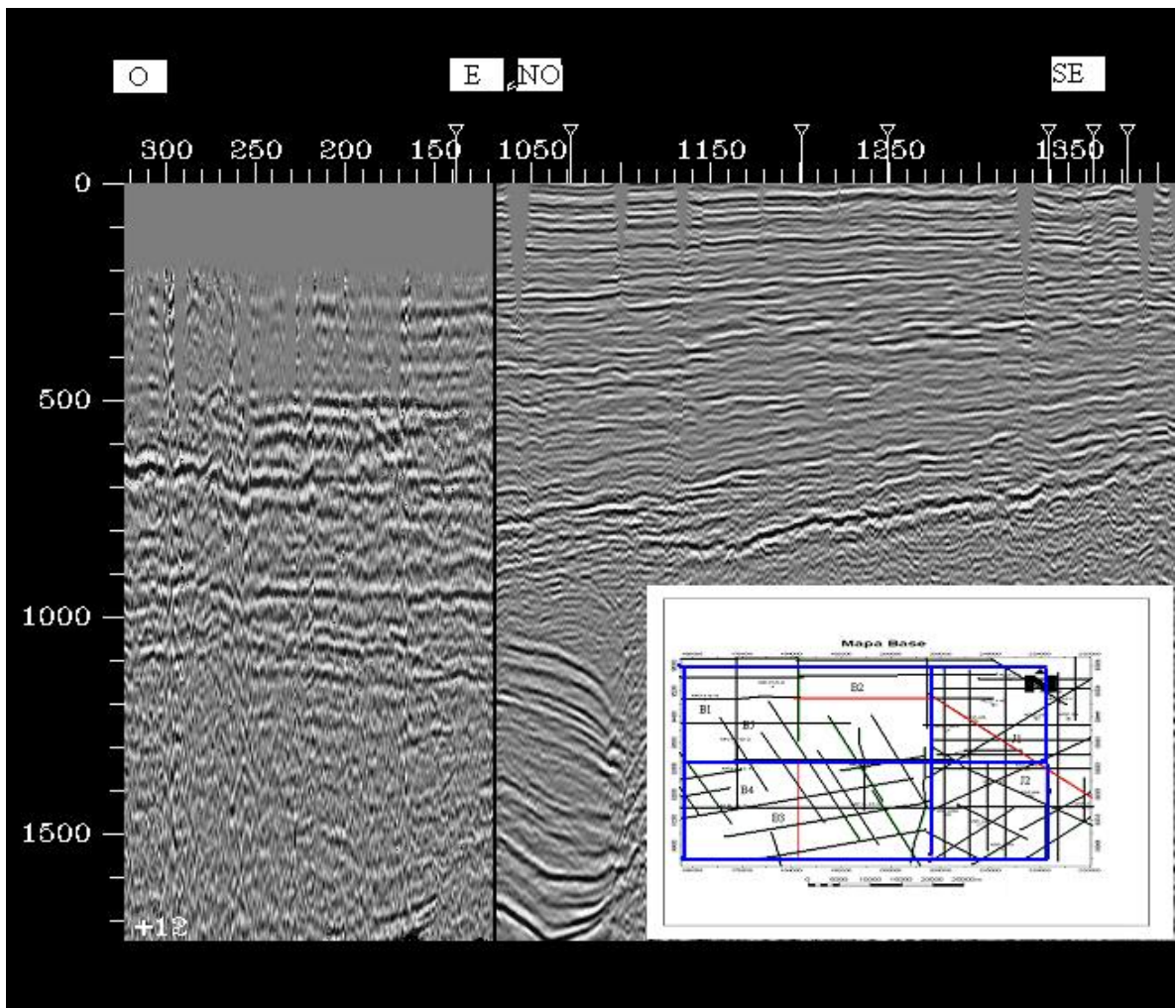


Figura 4.8. Transecto B2 y J1 para el amarre sísmico con desfase en tiempo. En azul área de estudio y en rojo transecto mostrado.

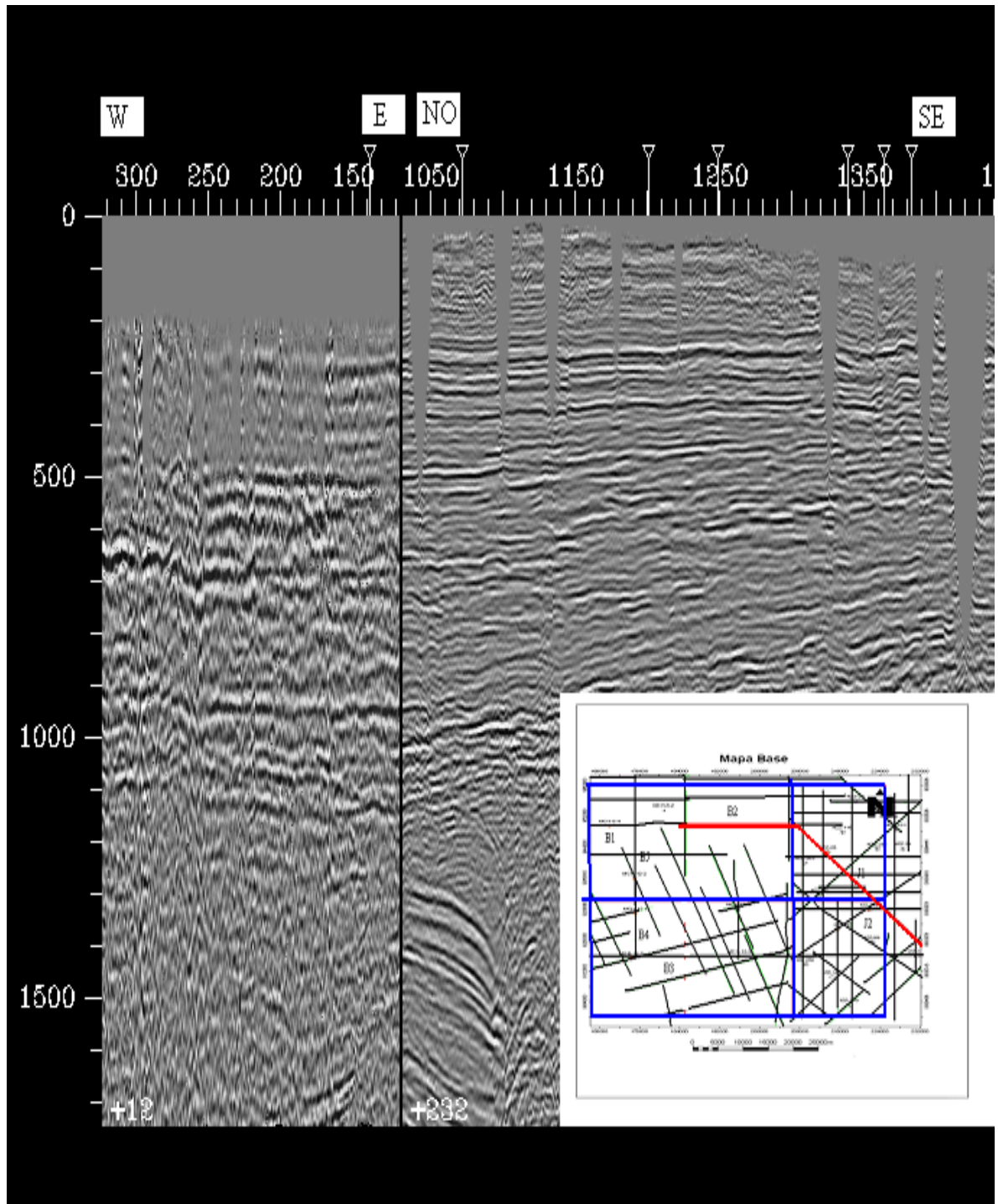


Figura 4.9. Transecto B2 y J1 para el amarre sísmico con desfase en tiempo corregido. En azul área de estudio y en rojo transecto mostrado.

4.3 Interpretación estructural 2D

4.3.1 Interpretación de fallas

Al momento de interpretar fallas se consideró el desplazamiento de un conjunto de reflectores subyacentes como se observa en la figura 4.10. Luego de analizar las diferentes secciones sísmicas, se observó la distribución espacial de las estructuras en las secciones sísmicas con orientación Norte-Sur; Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste, esto se debió a que la orientación de las fallas principales que atraviesan la zona son N67E y las secundarias asociadas a estas presentan orientación N20E.

A cada una de estas fallas identificadas, se les asoció características o propiedades similares como tipo de desplazamiento, ubicación espacial, buzamiento y salto aparente para correlacionarlas debidamente en las diferentes secciones sísmicas paralelas o subparalelas a ellas (figura 4.11).

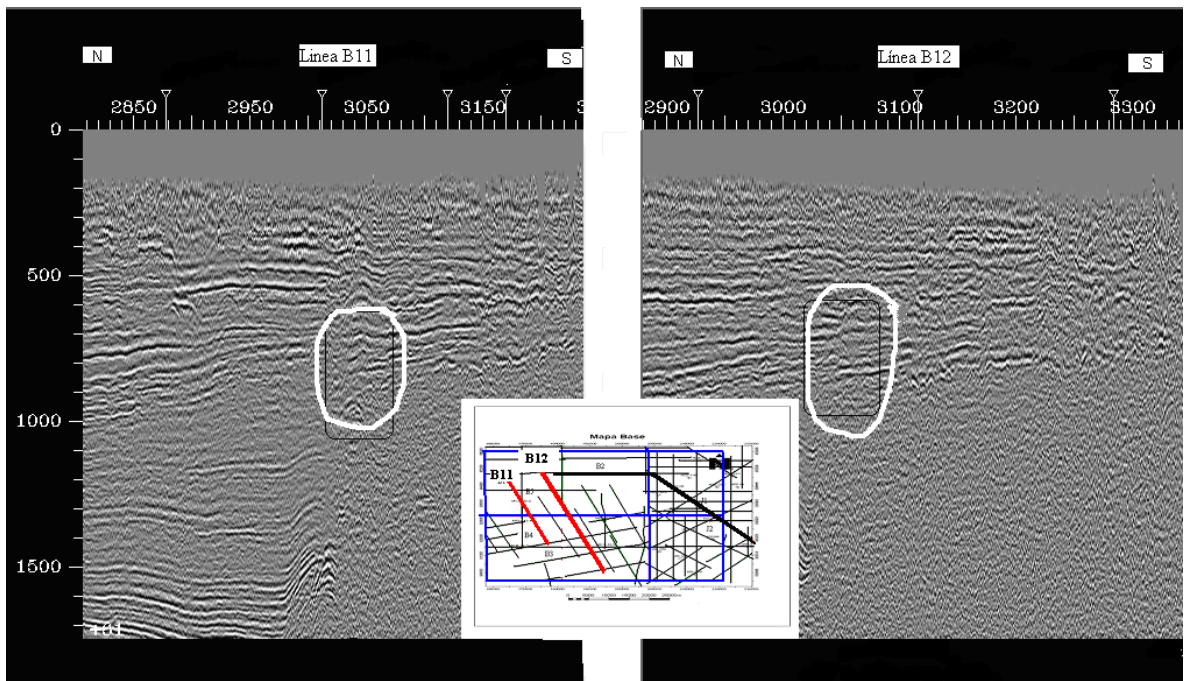


Figura 4.10. Correlación de fallas en líneas B11 y B12 paralelas entre sí. En blanco características similares para la falla interpretada.

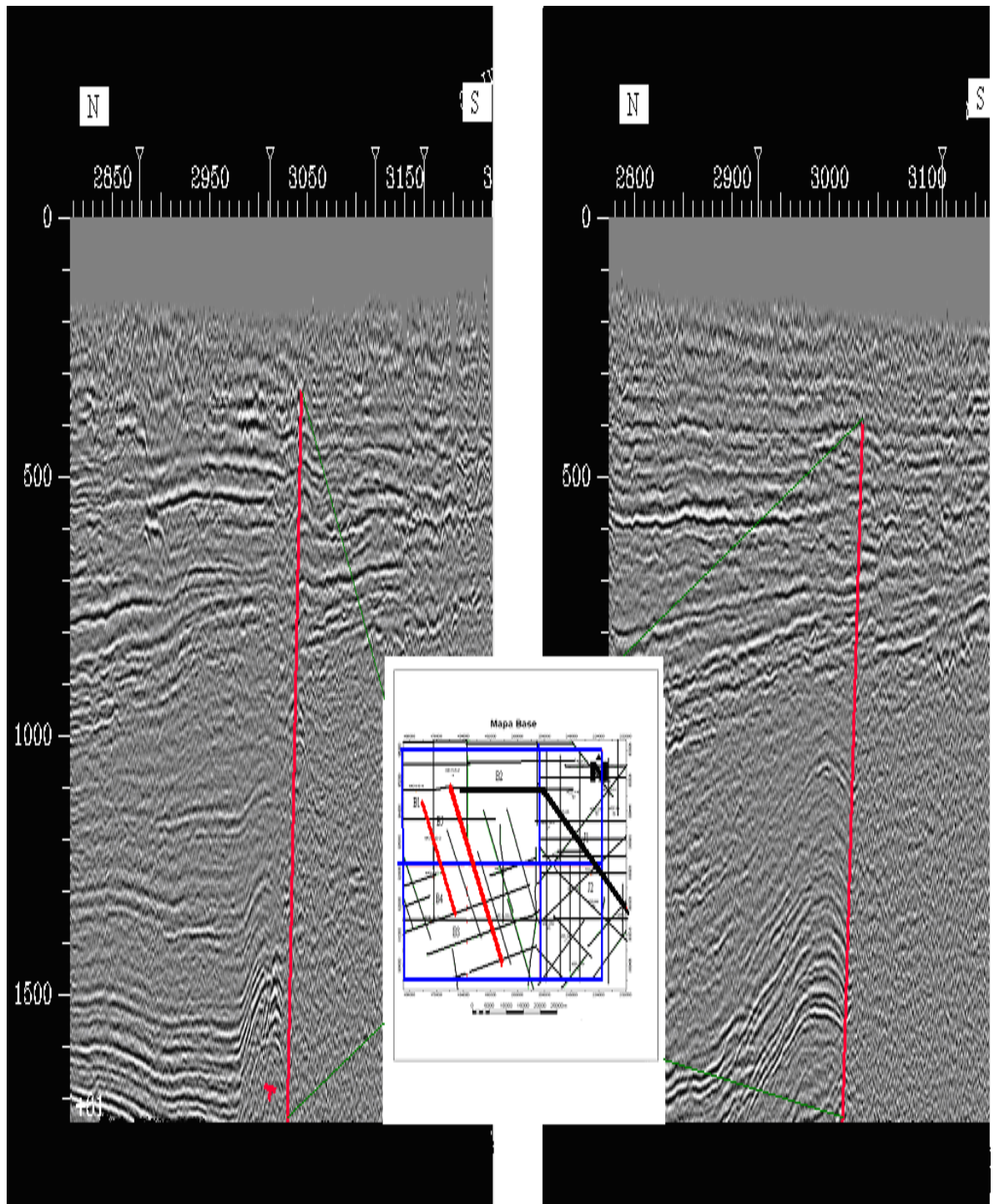


Figura 4.11. Interpretación de falla en líneas paralelas. Se observó características similares en distribución geométrica, salto, etc.

En el caso de las fallas no identificadas en las secciones o transectos base para la interpretación, pero apreciables en otras secciones sísmicas del proyecto bastó con identificar características similares en al menos dos secciones paralelas o subparalelas para poder identificarla y trazarla (figura 4.12).

4.3.2 *Interpretación de horizontes*

Para comenzar la interpretación, luego del trazado en papel se tomaron los reflectores que coincidieron con las secuencias de tope correlacionadas por los geólogos y mostrados en las secciones estratigráficas mostradas anteriormente los cuales corresponderían con los Topes Precretácico, Tope Cretácico, Tope Oligoceno y Tope Intramioceno que se observan en dichas secciones.

Cada uno de los horizontes identificados en las secciones sísmicas, presenta propiedades sísmicas características e inherentes a cada uno de ellos, lo cual permite identificarlos claramente en el resto de las secciones sísmicas. Para garantizar una interpretación coherente, se empleó el método “loops”, el cual permite visualizar diferentes líneas enmarcadas dentro de un polígono cerrado (figura 4.13), de tal manera, que las características inherentes a cada horizonte y teniendo como referencia, los marcadores guías de los pozos ubicados sobre la línea sísmica, permita en conjunto interpretar los demás horizontes. Luego de este paso inicial, se empleó el modo de selección zigzag y punto a punto para continuar la interpretación.

Cabe destacar que también se emplearon pozos relativamente cercanos a las diferentes líneas sísmicas que fueron proyectados sobre ella como una referencia adicional (figura 4.14), aunque su confiabilidad dependió de la distancia relativa entre el pozo y la línea sísmica.

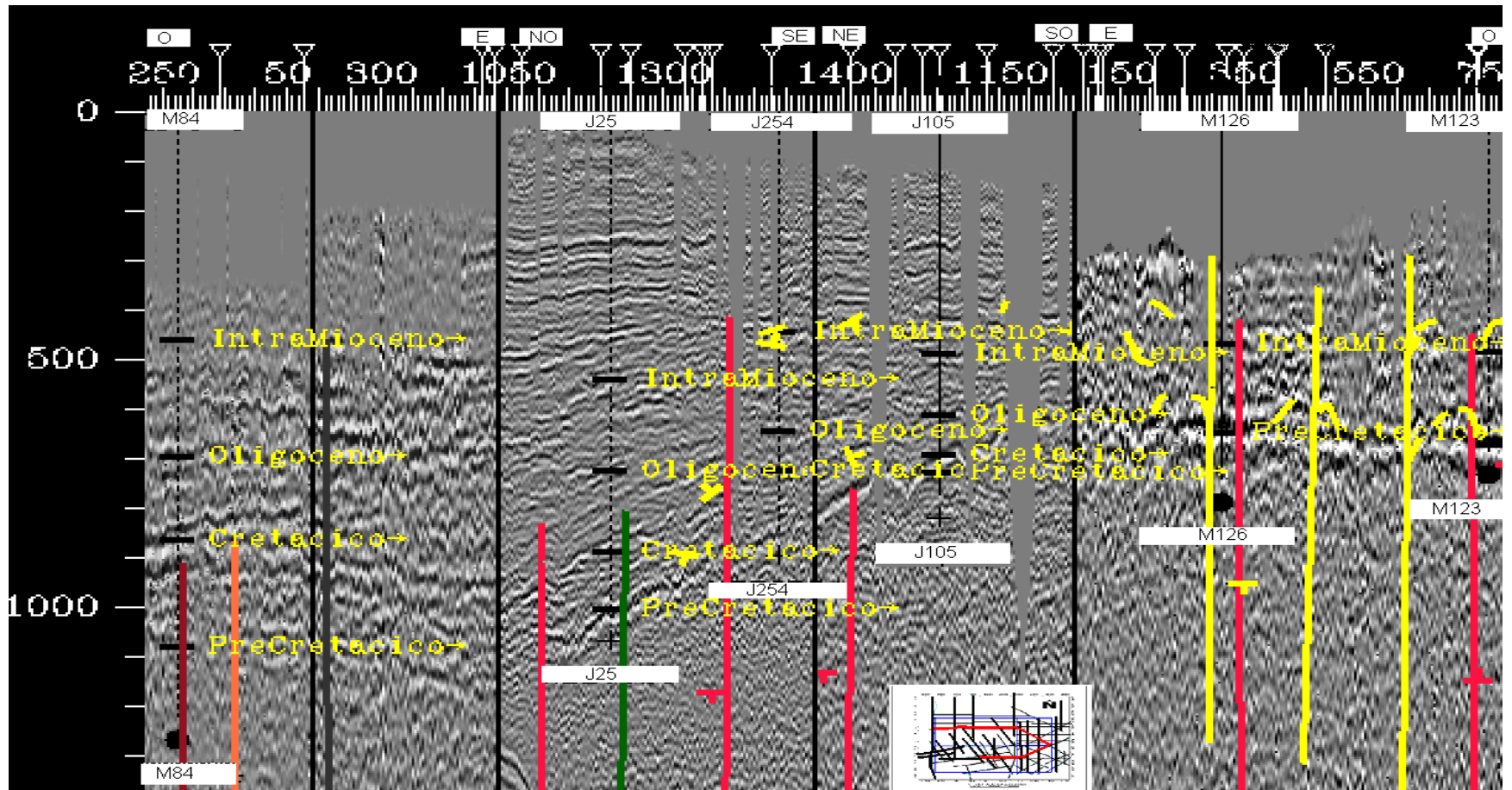


Figura 4.12. Interpretación de fallas en transecto regional B1, B2; J1, J2 y B3. Las fallas de color amarillo no se pudo correlacionar en otras líneas sísmicas, todas las demás fueron interpretadas

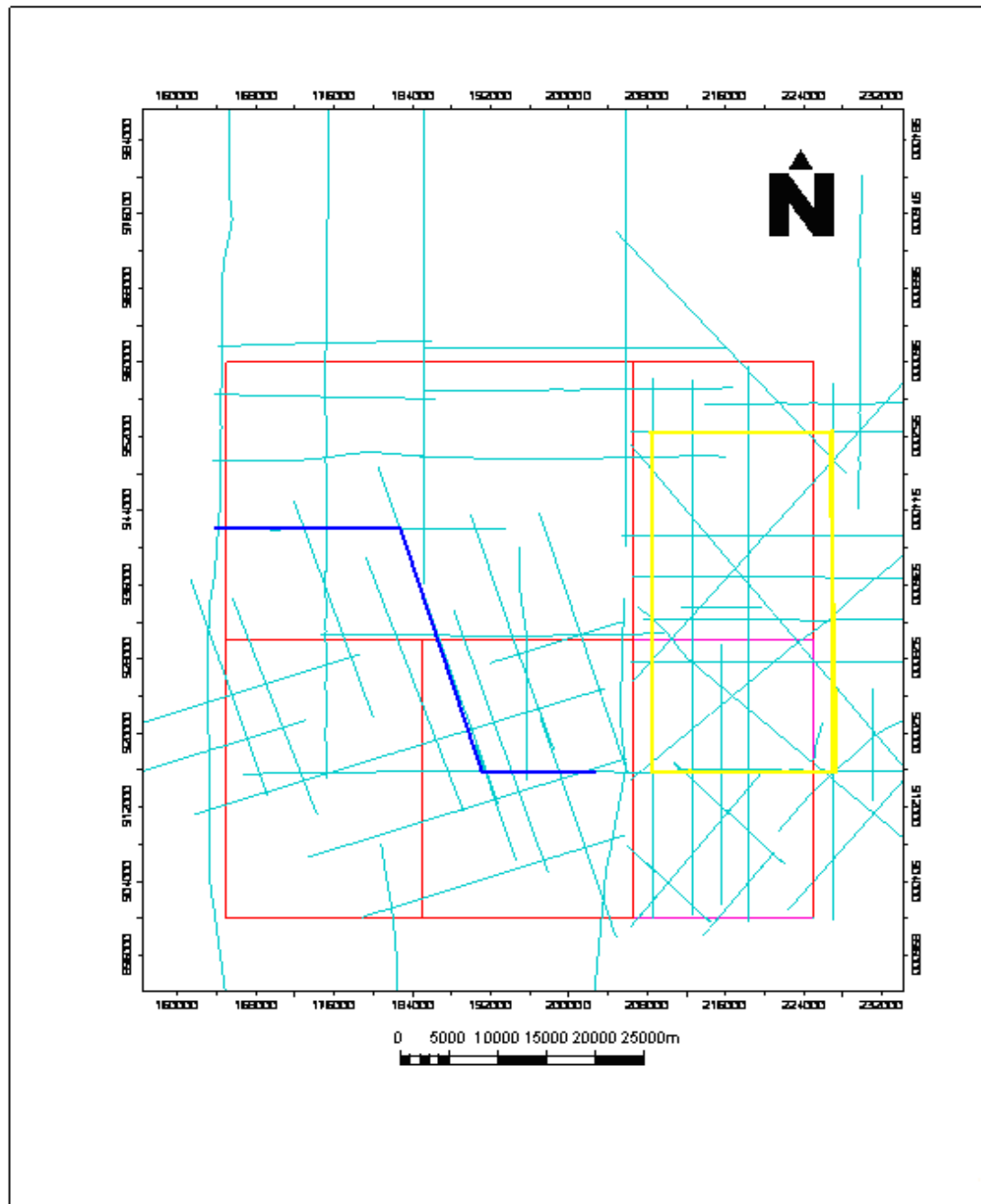


Figura 4.13. En amarillo método loops que permite desplegar diferentes líneas enmarcadas dentro de un polígono cerrado para la mejor coherencia en su interpretación. En azul zigzag para continuar propagación y en rojo Bloques que limitan el área de estudio.

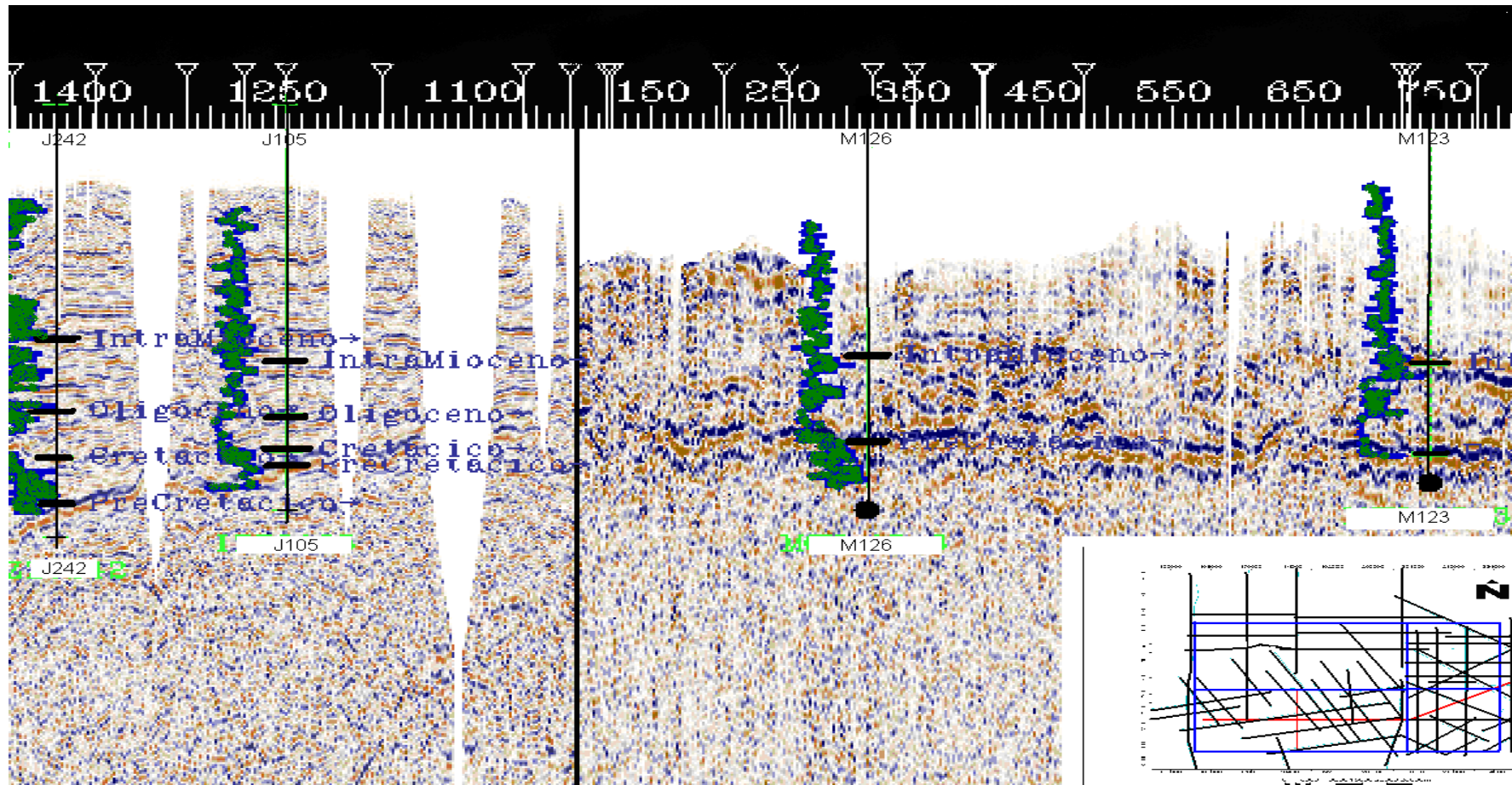


Figura 4.14. Transecto sísmico con pozos desplegados en negro. Pozo J242 proyectado sobre la línea sísmica. Topes de pozo en azul y en verde-azul registro rayos gamma

4.4 Realización de sismogramas sintéticos

4.4.1 Valoración de registros de tiro de verificación sísmica (TVS)

Se procedió a analizar las curvas tiempo-profundidad original de cada pozo, así como también, los registros de densidad y sísmico necesarios para realizar la calibración sísmica-pozo. Para ello se verificó que todas las curvas comenzaran en tiempo y profundidad en el datum de referencia, que el gradiente de velocidad fuese positivo en profundidad, para garantizar la no inversión de velocidades, variaciones en el diámetro del hoyo o para evitar que estos afectaran la calidad del sismogramas sintético (figura 4.15).

Luego se graficó todas las curvas tiempo-profundidad del área con respecto al nivel medio marino para evaluar la tendencia regional y verificar el comportamiento del gradiente de velocidad (figura 4.16).

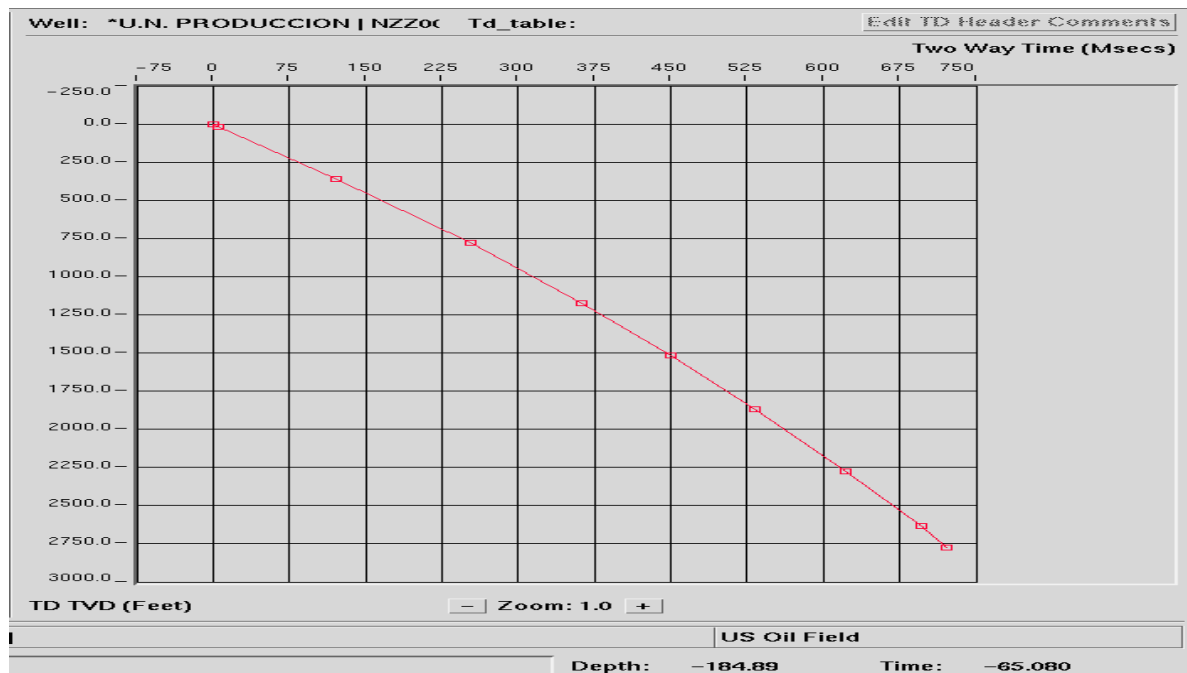


Figura 4.15. Curva Tiempo-Profundidad (T-Z) del pozo J25.

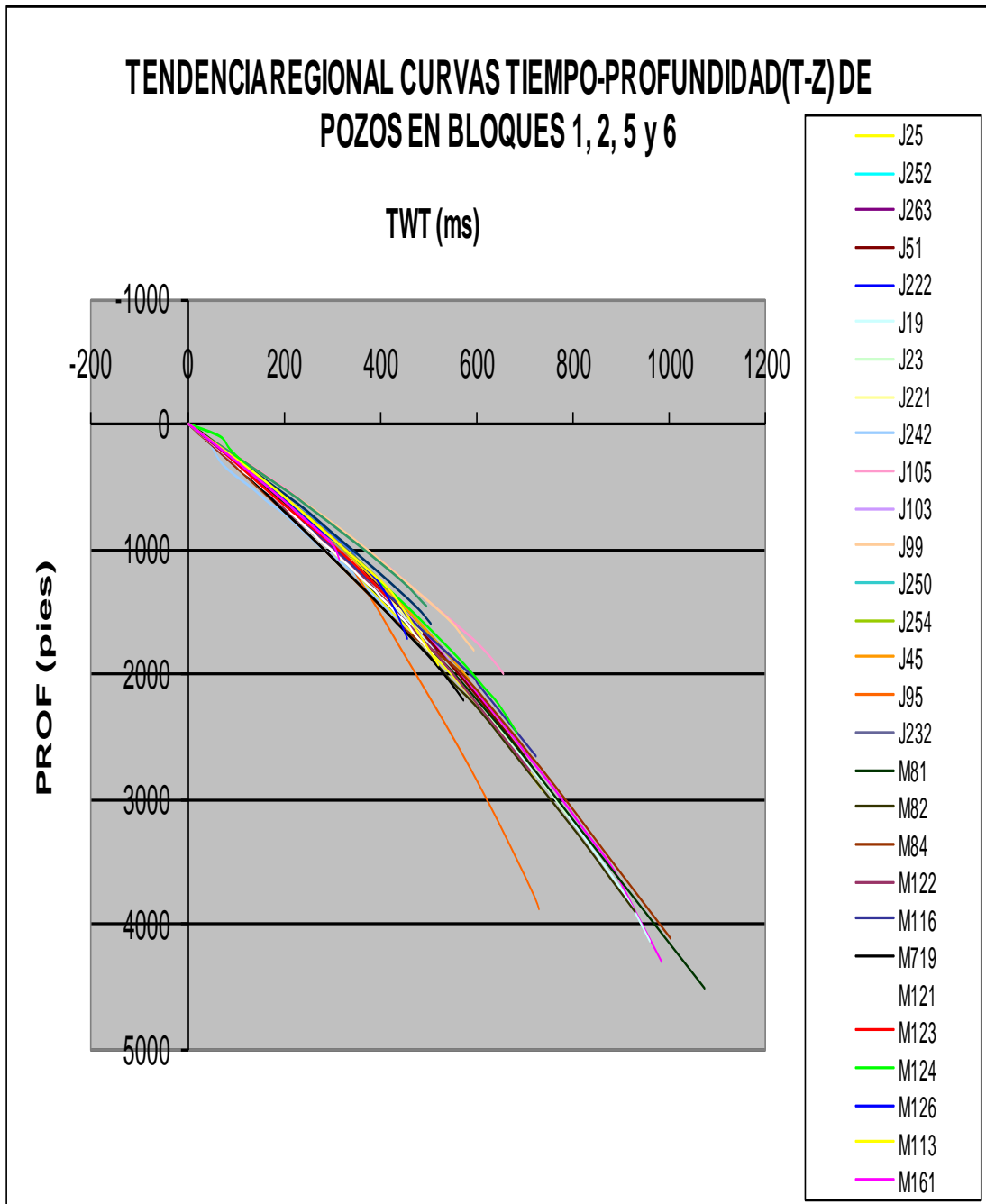


Figura 4.16. Tendencia regional de la curvas de tiempo-profundidad de los pozos en el área de estudio. Obsérvese que el gradiente en la zona no es totalmente homogéneo.

4.4.2 Elaboración de la serie de reflectividad

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

4.4.3 Selección de ondícula para la convolución

La ondícula fue extraída de la sísmica con fase cero a través del método de autocorrelación (Figura 4.17), de manera que englobara la secuencia de interés cretácico-terciario en tiempo y en un rango de 10 a 30 trazas cercanas al pozo. La ondícula extraída se convolucionó con la serie de reflectividad para así generar la traza sintética del sismograma sintético.

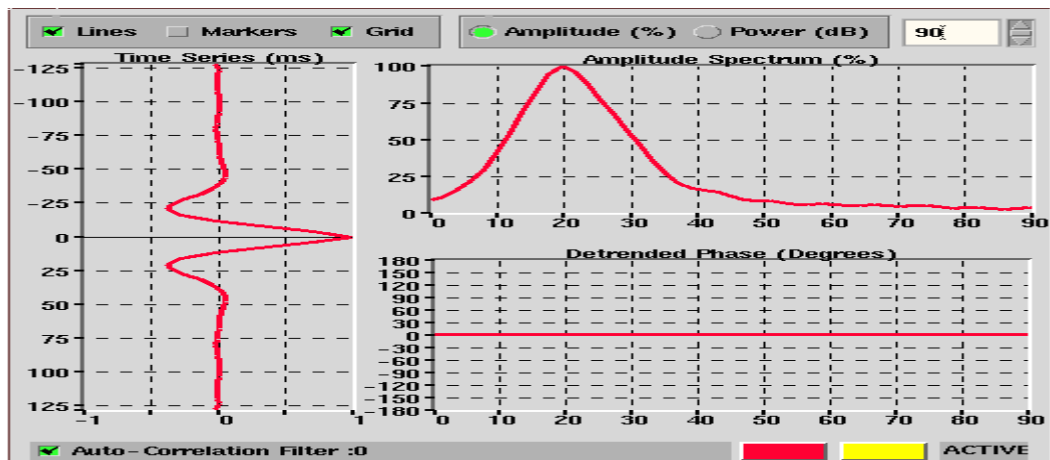


Figura 4.17. Ondícula extraída de la sísmica con fase cero, de la campaña de adquisición de 1975 y frecuencia de 20 Hz.

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

En la Figura 4.18 se observa de izquierda a derecha escala de tiempo y profundidad, topes geológicos del pozo, registro caliper, registro rayos gamma, registro de densidad, registro sónico (*DT*), impedancia acústica calculada a partir de los registros de densidad y sónico, serie de reflectividad, correlación y la traza sintética sobre la sección sísmica donde se encuentra el pozo a calibrar.

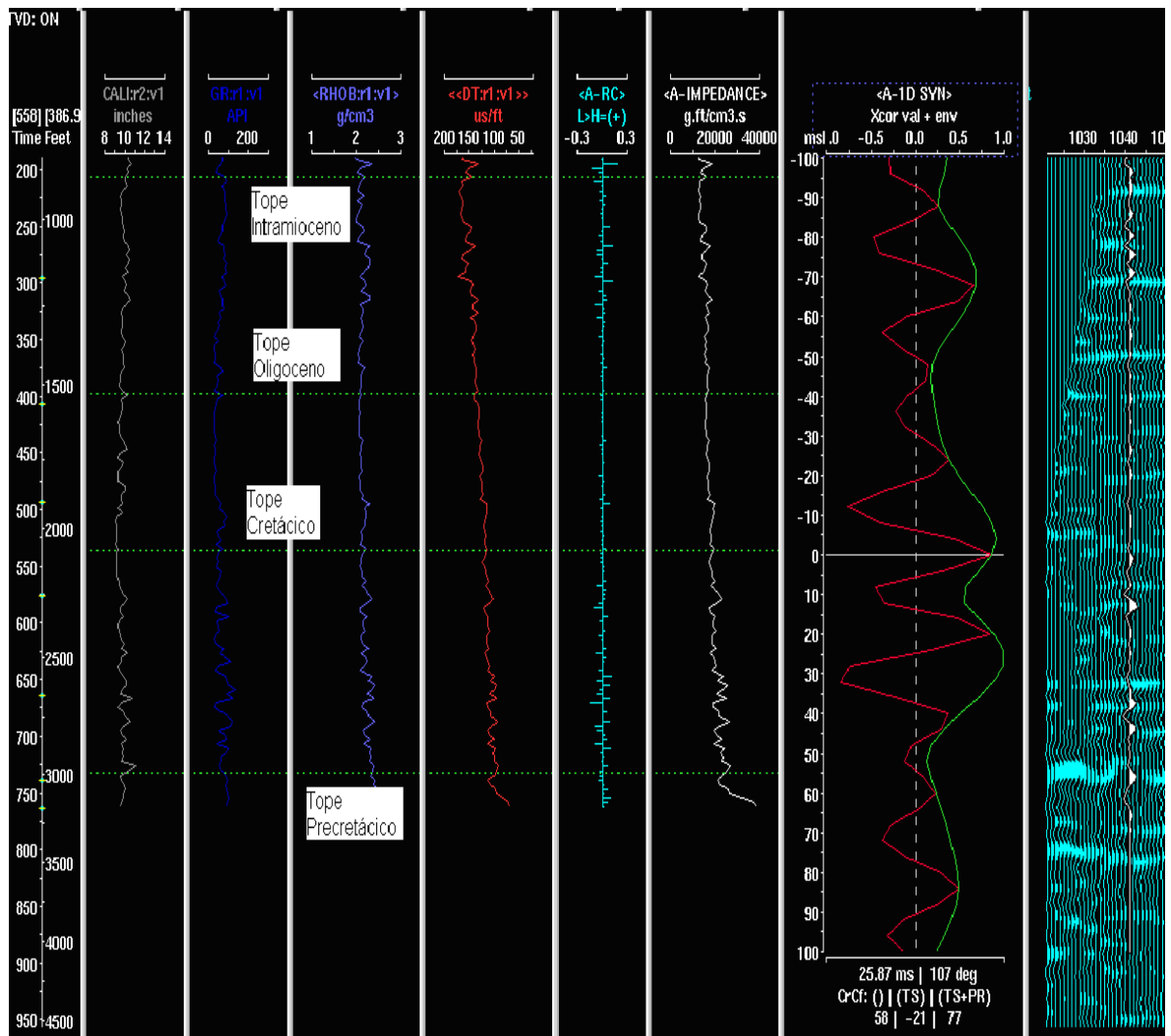


Figura 4.18. Proceso de elaboración del sismograma sintético a partir del pozo J51.

En esta ventana se puede calibrar la traza sintética del pozo con respecto a la línea sísmica para mejorar el coeficiente de correlación entre ambas. Para ello, se traslada verticalmente la traza sintética del sismograma sobre la sísmica mediante el ingreso de un datum o nivel de referencia en tiempo (*Shift*), expresado en milisegundos para controlar el desfase entre ambas (figura 4.19).

Datum Elevations		First Layer	
Depth:	386.99 ft	T-D Start Elev:	-16.01 ft
Time:	558 ft	Thickness:	574.01 ft
<input checked="" type="checkbox"/> Notify on datum change		(P) Velocity:	5580 ft/s
Checkshot:	0 ft	Thickness:	205.738 ms

Time Shift	
<input checked="" type="radio"/> Absolute Shift:	140 ms
<input type="radio"/> Relative Shift	
Shift Time:	0 ms
to Time:	0 ms
Computed Velocity:	3320.49 ft/s
Apply Time Shift to (P) Velocity	

Figura 4.19. Ajuste de la traza sintética a la sísmica mediante ingreso del datum en tiempo

Esta variación vertical, en el ajuste del desfase de la traza sintética, permitió mejorar progresivamente el coeficiente de correlación entre ella y la sísmica., considerando los eventos sísmicos, allí presentes y manteniendo el criterio geológico. Como se observó el presente sismograma tuvo un 77 % de correlación sísmica-pozo quedando amarrado el Tope Precretácico en forma clara y conveniente.

Cabe destacar que posteriormente este pozo, y a pesar de quedar bien calibrado a la sísmica y con un alto porcentaje de correlación, fue excluido del cálculo de velocidad para generar el modelo de velocidad por presentar una inversión de velocidades, la cual se trato corregir de manera infructuosa, a pesar de haberse calibrado correctamente el pozo a la sísmica, tanto matemáticamente como en sentido geológico.

4.5 Cálculo de la resolución vertical de la sísmica

Se realizó el cálculo de tres resoluciones verticales de la sísmica, debido a la existencia de tres campañas de adquisición diferentes, en la base de datos del área en estudio. Las mismas se calcularon a partir del espectro de amplitud-frecuencia generado al realizar la extracción de la ondícula de la sísmica (figura 4.20), donde conocido el valor de la frecuencia dominante (f) y el de la velocidad interválica (v) para los topes del referido pozo, la cual se calculó de la siguiente manera:

$V = (Z_{\text{precretácico}} - Z_{\text{intramioceno}}) / (t_{\text{precretácico}} - t_{\text{intramioceno}})$ se pudo calcular la longitud de onda (λ) mediante la ecuación $\lambda = v/f$ y luego la respectiva resolución vertical de la sísmica por $R = \lambda/4$ y el límite de resolución por widdes $L = \lambda/8$ para cada campaña diferente.

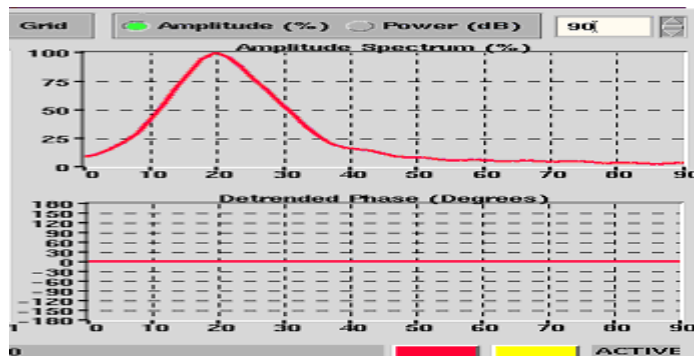


Figura 4.20. Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 1975.

4.6 Mapas en tiempo

Al finalizar la interpretación de horizontes y fallas, se exportaron los horizontes los polígonos de fallas creados, registros de pozos, líneas sísmicas del área y los polígonos representativos del área de estudio al programa que permitió el escalamiento de tiempo a profundidad en la interpretación.

Una vez cargada la información, se realizó un control de calidad a los datos de los horizontes en tiempo exportados, para verificar la correcta interpretación; garantizando la continua interpretación de los horizontes y evitando así, posibles interrupciones o saltos en los horizontes entre las líneas sísmicas que se cruzan, ya que esto podría generar puntos aislados mal interpolados en los mapas en tiempo. Luego de verificar esto, se construyó a partir de los horizontes exportados las superficies en tiempo para cada uno de los horizontes exportados: Precretácico, Cretácico, Oligoceno e Intramioceno (apéndice A, B, C y D).

4.7 Mapas de velocidad

Para la elaboración de los mapas de velocidad se determinó las velocidades interválicas, para cada una de las diferentes superficies erosivas, en función de la profundidad de los topes geológicos de cada pozo a lo que se realizó sismograma sintético.

Se introdujo, en forma separada, cada uno de los valores de profundidad por horizonte en el medidor de profundidad a la interfase de interés (*MD*) de las tablas tiempo-profundidad generadas al realizar el sismograma sintético, a cada uno de los pozos con registros sónico y registros de Tiros de Verificación Sísmica. Luego se calculó los valores de datum tiempo-profundidad en pies y del tiempo desplegado (“*display time*”) en milisegundos. Este procedimiento se repitió por cada horizonte de cada pozo que se le construyó sismograma sintético.

Es conveniente distinguir que los valores de profundidad empleados están referidos y medidos al datum de la sísmica (558 pies sobre el nivel del mar), ya que a partir de él se inician los tiempos de reflexión sísmica, sin embargo, y debido a que se necesitan los espesores, este hecho es irrelevante en los cálculos que siguen.

Seguidamente se estimó la velocidad interválica (V_n) en pies/s para cada superficie erosiva por pozo (Tabla 4), mediante la ecuación:

$$V_n = \{[(T-D \text{ Datum}(TVD))_n - (T-D \text{ Datum}(TVD))_{n-1}] / [(Display \text{ time})_n - (Display \text{ time})_{n-1}] * 2000\}$$

Es conveniente destacar que la interfase 0 ($n = 0$) corresponde al datum de la sísmica de 558 ft. El factor multiplicador de 2000 se aplica para transformar las medidas de milisegundos a segundos y para convertir las lecturas de tiempo doble (TWT) a tiempo simple.

Tabla 4. Velocidades interválicas por tope calculadas a partir de la tabla tiempo-profundidad (t-z) del pozo J-25.

Pozo	Horizonte	(MD) (Tope del pozo)	T-D Datum (TVD) (pies)	Display time (ms)	Velocidad interválica (pies/s)
J25	Intramioceno	1368	1418	542,769	5225,06
	Oligoceno	2071	2121	724,855	7721,63
	Cretácico	2767	2817	887,929	8536,00
	Precretácico	3360	3410	1007,226	9941,57

Seguidamente al cálculo de velocidades interválicas de todos los pozos con registro checkshot, se agruparon estos por horizonte, con la finalidad de guardar cada una de ellas como archivo Excel de tipo texto (delimitado por espacio), luego se exportó a la plataforma del programa para poder construir el mapa de velocidad por horizonte interpretado. El programa empleó el método de interpolación convergente.

Los mapas de velocidad obtenidos y correspondientes al Tope-Intramioceno y Tope Precretácico presentaron inconsistencias geológicas por lo que luego de verifica

los cálculos de velocidades y realizarle un análisis estadístico se excluyó el valor de velocidad del Tope Intramioceno de los pozos J-95, J-132 y M-81y el Tope Precretácico del pozo J-103 por alejarse más de dos desviaciones estándar de la media de los datos (ver apéndice E, F, G y H).

Luego de esto se procedió a generar los correspondientes mapas de velocidad definitivos para la posterior conversión del dominio del tiempo al dominio de la profundidad.

4.8 *Mapas en profundidad*

Luego de generado los mapas de velocidad y tiempo se procedió a construir los mapas en profundidad para cada uno de los horizontes interpretados. Para ello se aplicó la ecuación:

$$Z_n = Z_{(n-1)} + V_n \cdot (t_n - t_{n-1}) \cdot 2000$$

Donde:

Z_n es el mapa en profundidad del horizonte a mapear, V_n es el mapa de velocidad interválica correspondiente a esa interfase, y t_n es el mapa en tiempo de la n -ésima interfase. El Factor multiplicador 2000 se emplea para convertir los milisegundos a segundos y el tiempo doble (TWT) a tiempo simple.

Cabe destacar que en el caso de la superficie intramioceno ($n = 1$), la superficie Z_0 corresponde a una superficie horizontal de cota 0 msnm, ya que el mapa de tiempo se encuentra referido al datum sísmico de 558 pies, los mapas resultantes de esta operación también estarán atados a este nivel, por lo tanto, para obtener los mapas respecto al nivel medio marino fue necesario restar 558 pies a cada mapa.

Posteriormente, cada mapa tuvo que ser editado a mano para darle sentido geológico en las zonas donde el programa interpolador no funcionó correctamente. Igualmente fue necesario editar las curvas de nivel para expresar los saltos de las fallas calculados previamente, ya que los programas usados en la construcción de los mapas

no interpolan apropiadamente sobre las fallas.

4.9 Comprobación de los mapas generados

Para comprobar el mapa de profundidad generado se utilizó el pozo J-115 y J-28 que no fue utilizado en la elaboración de los modelos por no poseer checkshot (TVS) y al ser desplegado el pozo con su respectiva interpretación secuencial permitió comprobar el modelo y utilidad de los mapas generados (Tabla 5 y Tabla 6).

Tabla 5. Porcentaje de error en comprobación del modelo en profundidad para el pozo J115

Pozo J115			
Tope	Prof del pozo	Prof proyectada	Porcentaje de error
Intramioceno	798	747	6,390977444
Oligoceno	1670	1685	0,898203593
Cretácico	2319	2300	0,819318672
Precretácico	3391	3320	2,093777647
Promedio			2,550569339

Tabla 6. Porcentaje de error en comprobación del modelo en profundidad para el pozo J28

Pozo J28			
Tope	Prof del pozo	Prof proyectada	Porcentaje de error
Intramioceno	1091	1095	0,366636114
Oligoceno	2159	2200	1,899027327
Cretácico	2744	2775	1,129737609
Precretácico	4386	4300	1,960784314
Promedio			1,339046341

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Resolución vertical de la sísmica

Se calcularon tres resoluciones verticales de la sísmica, una por cada campaña de adquisición, a partir de la ondícula extraída de la sísmica (tabla 7) para toda la secuencia cretácico-terciaria.

Los valores de resolución obtenida según la ecuación de Rayleigh oscilaron entre 61,26 y 103,5 pies y con un límite de resolución entre 30,63 y 51,75 pies según Widdes, estos valores muestran el espesor mínimo en el cual las reflexiones entre base y tope podrían distinguirse, teniendo como referencia la opinión de dos autores diferentes.

TABLA 7. Cálculo de resolución sísmica vertical y límite según Widdes.

Año de la campaña de adquisición	Frecuencia dominante (Hz)	Velocidad intervalica (pies/s)	Resolución vertical (pies)	Límite de resolución según Widdes (pies)
1971-1975	20	8280,23	103,50	51,75
1979-1982	25	8576,53	85,77	42,88
2007	35	8577,76	61,27	30,63

5.2 Sismogramas sintético

En la tabla 8 se desglosa los 29 sismogramas sintético realizados, allí se puede apreciar que la calibración sísmica-pozo se encuentre entre valores de 14-85%. El mejor ajuste correspondió al pozo control J-232 ubicado sobre la línea J-EXT y el menor ajuste al pozo J-250.

Luego del descarte de inconsistencias en las curvas tiempo-profundidad originales, se realizó los sismogramas sintéticos, obteniendo los correspondientes

coeficientes de correlación.

En términos globales el coeficiente de correlación sísmica- pozo estuvo en el orden de un 54 %, lo que refleja una buena correlación sísmica-pozo.

En la figura 4.18 vista anteriormente, se observa como en el tope precretácico hay un máximo de amplitud positiva en la traza sintética, que evidencia un aumento de velocidad y densidad de las rocas precretácicas con respecto a las del cretácico.

TABLA 8. Coeficientes de correlación (%) en sísmica-pozo

Pozos	Porcentaje de correlación (%)
J25	29
J28	68
J45	36
J51	77
J115	46
J252	64
J254	27
J19	82
J99	25
J103	44
J242	53
J250	14
J262	38
J93	80
J95	76
J232	85
J132	44
M81	43
M82	57
M84	52
M122	58
M116	27
M121	66
M123	68
M124	63
M126	61
M161	67
M113	46
J105	73

5.3 Interpretación sísmica

La interpretación sísmica correspondió en gran medida con los registros litológicos de cada pozo, especialmente con el registro de rayos gamma.

Los diferentes topes interpretados presentan patrones de reflexión diferentes entre sí.

En el Tope Precretácico, se observaron terminaciones de tope del tipo “truncaciones erosionales” que indican la presencia de la superficie erosiva, anterior a la transgresión del Cretácico (figura 5.1).

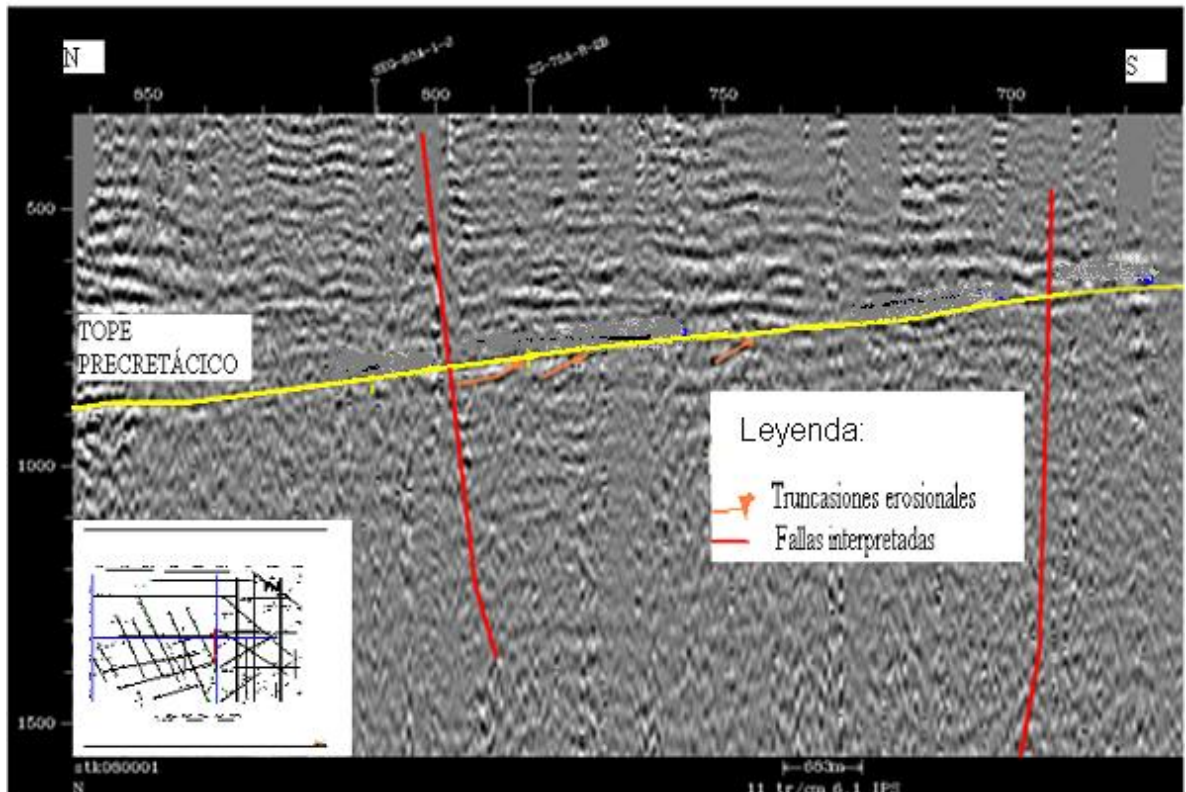


Figura 5.1. Patrones de reflexión para el Tope Precretácico

En el Tope Oligoceno, se observaron terminaciones de base tipo downlaps (figura 5.2), que representan el proceso de regresión (progradación) de finales del Cretácico.

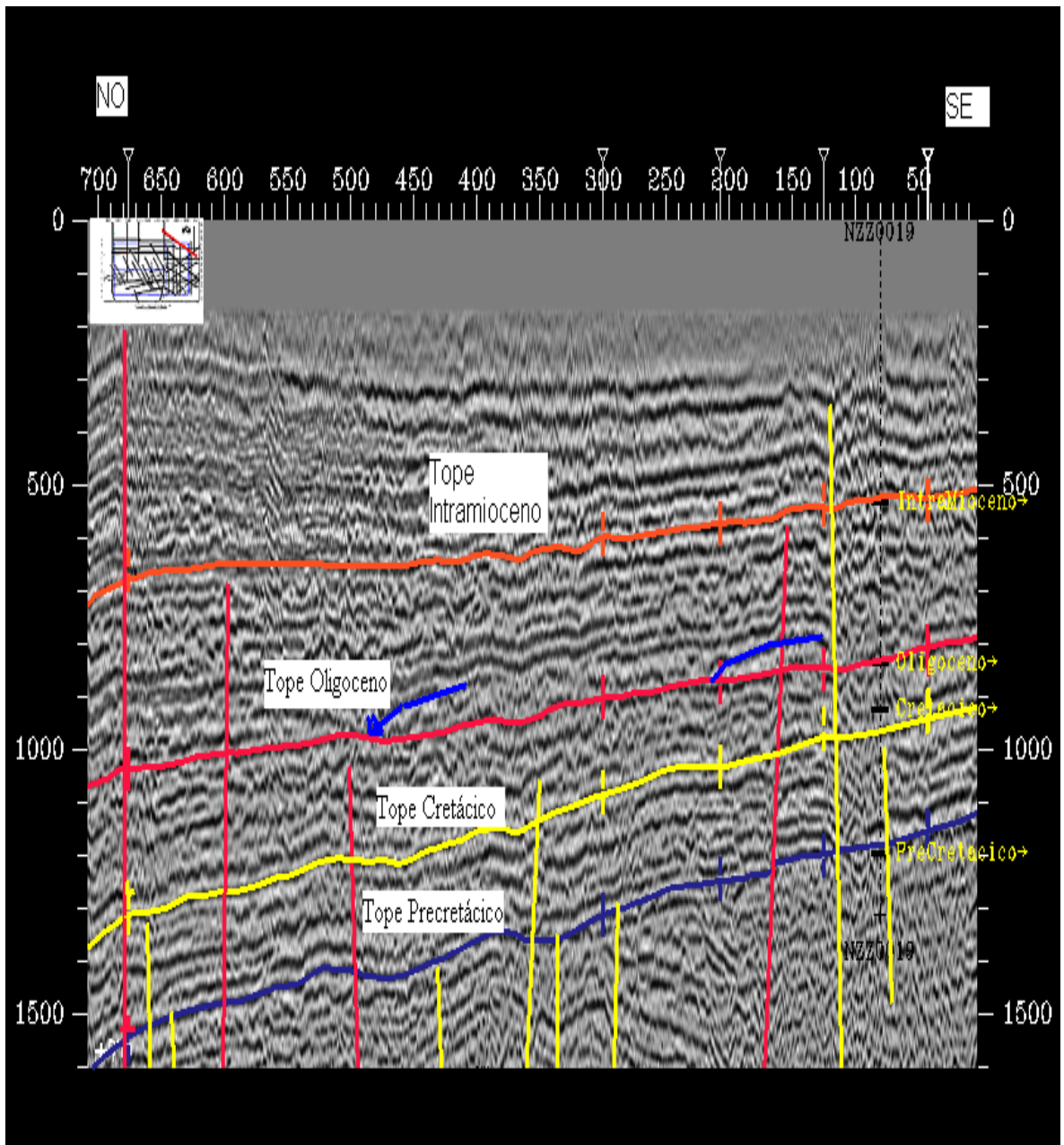


Figura 5.2. Patrones de reflexión tipo Downlap para el Topo Oligoceno. En rojo fallas interpretadas.
 En amarillo fallas no correlacionadas.

Para el Topo Intramioceno, en la zona de estudio, resulta complicado distinguir patrones de reflexión, ya que hasta los 500 ms aproximadamente, la sísmica es de pobre calidad, aunque se logró observar terminaciones Toplap como discordan

cias al tope de la secuencia intramioceno (figura 5.3).

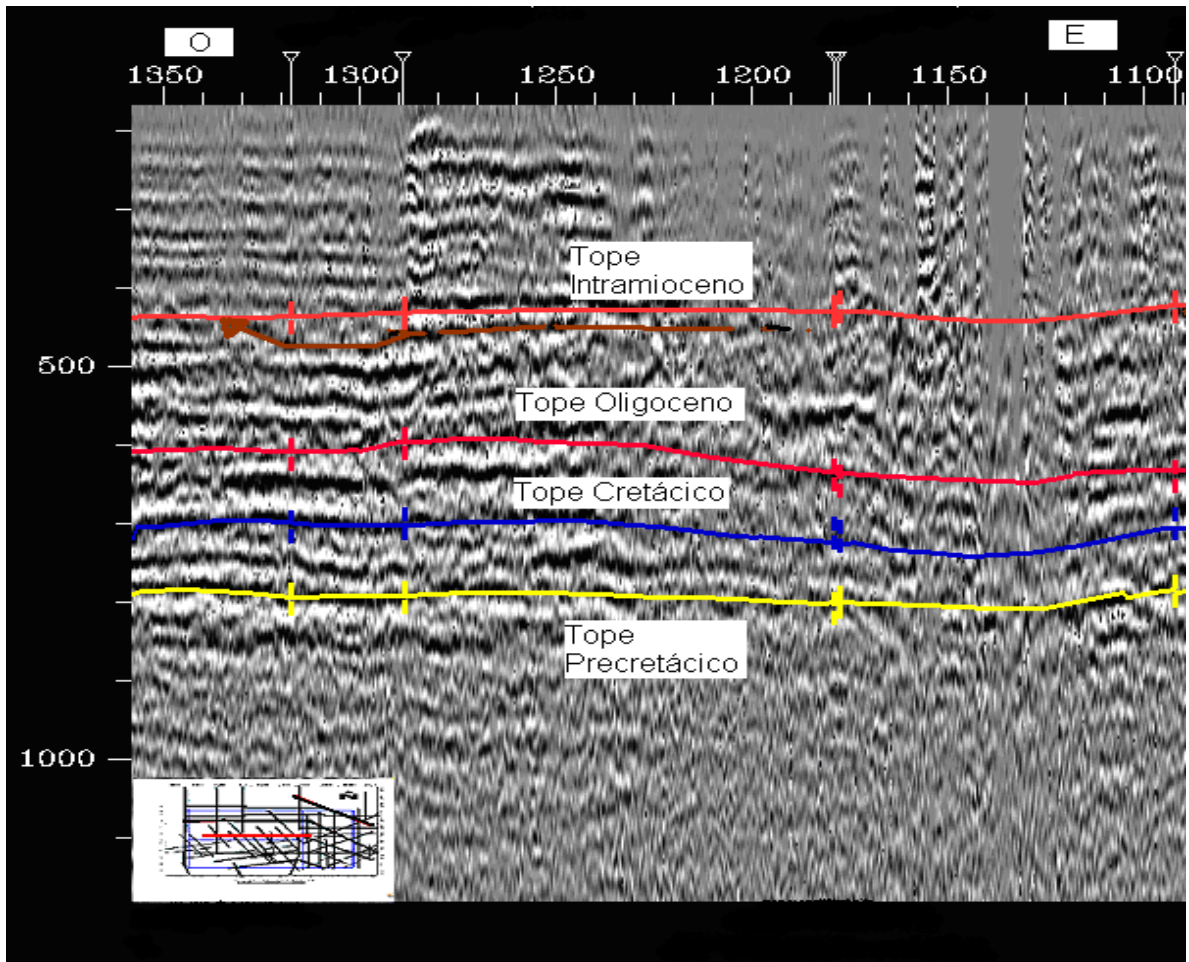


Figura 5.3. Patrones de reflexión tipo Toplap para el Tope Intramioceno

Dentro del contexto, es conveniente destacar el acuñaamiento de los topos Cretácico y Oligoceno hacia el Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, por la existencia de una secuencia de baja energía que se acuña y se vuelve más arenosa en ese sentido, en concordancia con lo expresado en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela III* (1997).

5.3.1 Interpretación de fallas

En el área de estudio se interpretó únicamente 11 fallas, todas normales, de las

cuales 8 atraviesan hasta el intramioceno, 2 hasta el cretácico y 2 hasta el oligoceno (figura 5.4). Un primer grupo predominante paralelo o subparalelo a la falla Altamira y falla Carrizal con orientación aproximada a la N67E y un segundo grupo más reducido de orientación N20 -30E de corta extensión y propagándose ambas de manera subparalela en dirección Noreste.

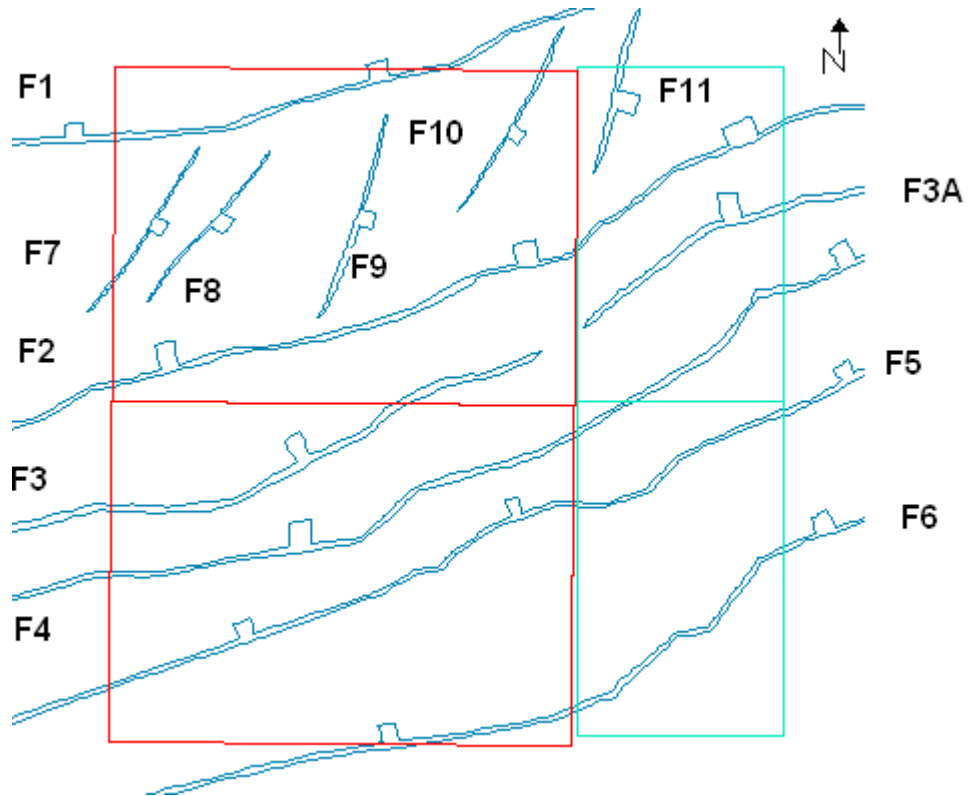


Figura 5.4. Modelo estructural generado en tiempo.

Al comparar el modelo estructural generado con el mapa estructural de Venezuela para la zona en estudio (figura 5.5), se observa una gran similitud entre ambas, donde la orientación de las fallas generadas se corresponden con el sentido y dirección de la falla Altamira y de la falla Carrizal, alrededor de la N67E, así como también del Graben de Espino de similar orientación de su estructura.

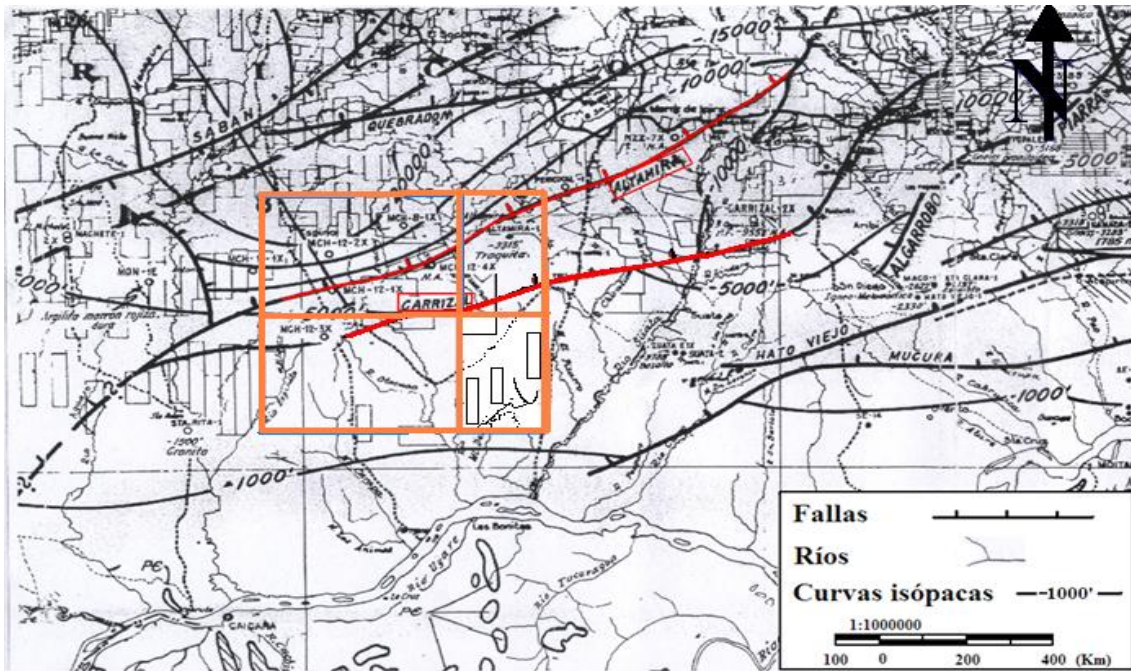


Figura 5.5. Mapa estructural de Venezuela, color naranja zona de estudio (modificado de Spailat (2008))

El salto aparente de las fallas interpretadas están comprendidos en una rango de 40 a 90 pies aproximadamente (tabla 9), evidenciándose un mayor salto en las fallas del primer grupo dominante de orientación N67E, específicamente a la correspondiente a la falla de Altamira y a la falla Carrizal, lo cual corresponde en cierto modo con lo expuesto por Talwani (2002) en cuanto a tectónica y las estructuras para la provincia oeste de la Faja del Orinoco.

Tabla 9. Orientación y saltos de las fallas interpretadas

Fallas	Orientación aproximada	Salto aparente (pies)	Último tope observado
F1	N70E	60	Oligoceno
F2	N70E	90	Intramioceno
F3	N70E	80	Intramioceno
F3A	N70E	90	Intramioceno
F4	N70E	70	Intramioceno
F5	N70E	60	Intramioceno
F6	N70E	45	Intramioceno
F7	N30E	60	Cretácico
F8	N30E	40	Cretácico
F9	N20E	40	Intramioceno
F10	N30E	80	Intramioceno
F11	N20E	80	Oligoceno

5.3.2 Interpretación de horizontes

Se interpretaron cuatro horizontes de edades geológicas diferentes y correspondiente a la secuencia cretácico-terciario como son los Topes Precretácico, Cretácico, Oligoceno e Intramioceno (figura 5.6).

El transecto interpretado muestra el acuñamiento de los Topes Cretácico y Oligoceno contra el Tope Precretácico hacia el Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela. Se puede apreciar como el Tope Oligoceno se acuña después de hacerlo el Tope Cretácico.

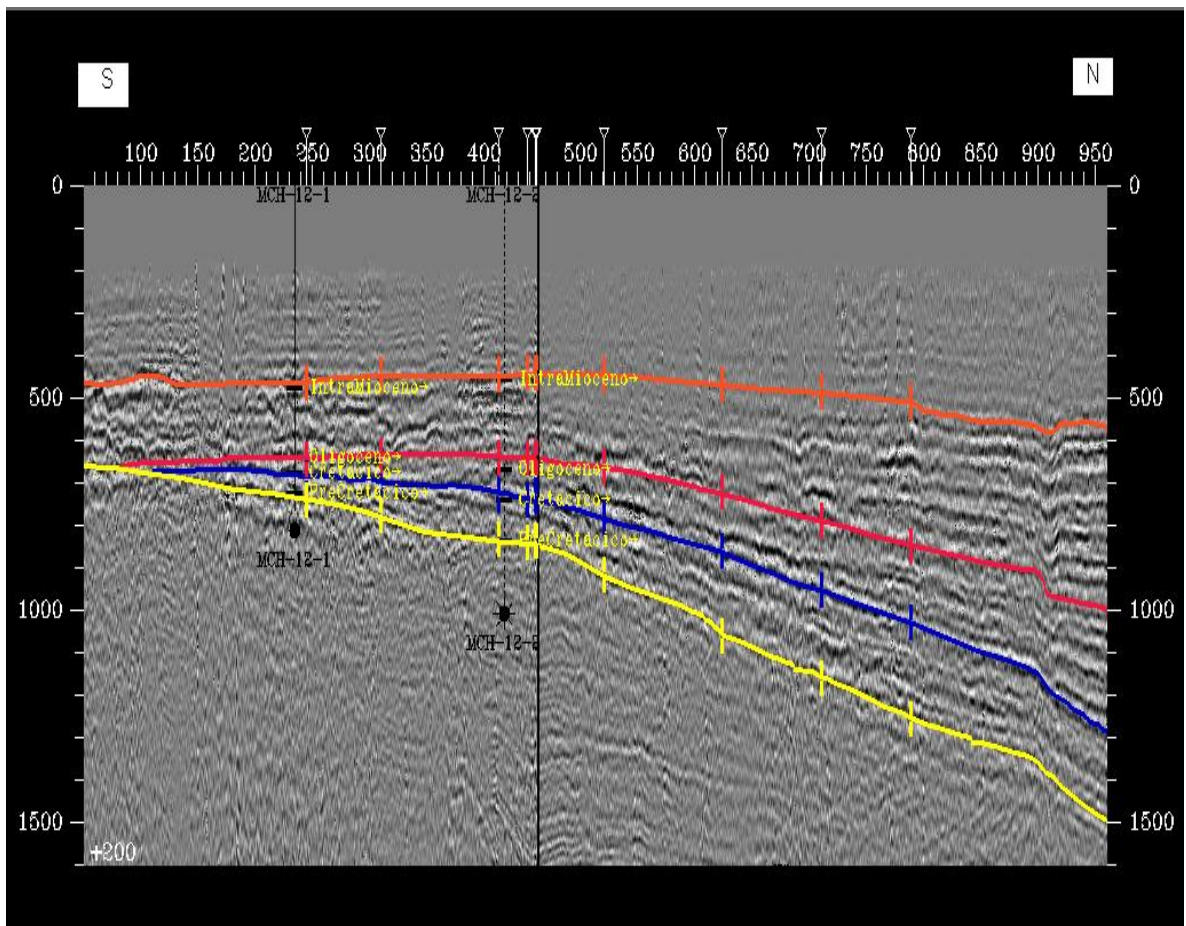


Figura 5.6. Transecto Sur-Norte interpretado. Tope Precretácico color azul marino, Cretácico color azul claro, Oligoceno color rojo e Intramioceno color naranja.

5.4 Mapas en tiempo

En la secuencia cretácico-terciario en estudio, se observó en el mapa en tiempo correspondiente al Precretácico (Apéndice “A”) que las curvas presentan una tendencia general Este-Oeste, buzando gradualmente hacia el Noreste en el área Noreste de la zona en estudio, mientras que en el Sureste del área las curvas muestran una tendencia de buzamiento Noroeste. De igual manera se observó un aumento gradual del tiempo en sentido Noreste. Las curvas tienen un gradiente aproximado de 18.3 ms/km.

Para el Tope del Cretácico se observó en las curvas la tendencia general Este-Oeste buzando leve y gradualmente al Noreste siendo más marcada esta tendencia en el Noreste del área en estudio (ver apéndice “B”). De igual manera se apreció el aumento del tiempo de viaje en sentido al Norte y en especial hacia el Noreste de la zona en estudio. El gradiente en tiempo para este tope fue de 12,7 km/ms.

En el Tope del Oligoceno se mantiene la misma tendencia anterior de leve y gradual buzamiento de las curvas de nivel al Noreste con zonas de menor tiempo de viaje al Sur del área y un gradiente de 8,3 km/ms aproximadamente (ver apéndice “C”).

Finalmente, para el Tope del Intramioceno se observó hacia el Sur del área una tendencia algo caótica en la distribución de las curvas de nivel. En el Sureste, zona correspondiente al bloque Junín 2, se observó tiempo de viajes cortos con tendencia de aumento tanto al Noroeste como al Noreste, aunque el mayor aumento relativo en los valores de tiempo correspondió a la dirección Noreste. El gradiente de la zona para este tope fue de 5,8 km/ms (ver apéndice “D”).

5.5 Mapas de velocidad

Para el Tope del Precretácico, se observó al Sur del área de estudio una tendencia relativamente uniforme en dirección Este-Oeste, donde las curvas de nivel buzan le

vemente al Suroeste, para luego en la mitad del área de estudio comenzar a bascular en sentido Este-Oeste y finalmente buzar levemente hacia el Noreste, las curvas de nivel de velocidad. El gradiente de velocidad calculado por km de profundidad fue de 115,38 pie/s. (ver apéndice “E”)

En el Tope del Cretácico se analizó la tendencia de las curvas de nivel de velocidad, el mismo presentó un comportamiento regular en el área de estudio, con una orientación relativamente aproximada a la dirección Noroeste-Sureste, presentando una zona de mayor velocidad hacia el Noreste y de menor velocidad al Sureste de la zona en estudio. El gradiente de velocidad para el Tope del Cretácico en este mapa fue de 68 pies/s por cada km de profundidad (ver apéndice “F”).

El mapa de velocidad del Tope del Oligoceno presentó una clara tendencia de sus curvas de nivel muy aproximada a la Este-Oeste con un ligero buzamiento al Noreste, encontrándose la zona de mayor velocidad en esa ubicación y la de menor velocidad al Sureste de la misma zona. El gradiente de velocidad quedó definido en 4,03 pies/s por cada kilómetro de profundidad (ver apéndice “G”).

Por último, el Tope del Intramioceno mostró en su mapa de velocidad, similares inconsistencias geológicas que en el mapa en tiempo. Presentó unas curvas con cierres pronunciados y zonas de alternancia de velocidades en la región Sureste y Noreste, más precisamente en los bloques Junín 1 y Junín 2. Luego de analizar las curvas TZ de los pozos cercanos se observó una muy baja velocidad de primera capa para el pozo J51, al cual se le revisó la tabla tiempo-profundidad asociada a él, sin presentar ninguna alteración significativa. Se procedió a realizar nuevamente el sintético y este ajustó en un 77% de correlación en la calibración sísmica- pozo, coincidiendo el Tope del Precretácico con el reflector sísmico asociado a dicho tope y al revisar nuevamente la tabla tiempo-profundidad del referido pozo luego del ajuste, se evidenció una inversión de velocidades, por lo que seguidamente se descartó el pozo para el cálculo del modelo de velocidades. Posiblemente el error presentado se deba a problemas de correlación geológica (ver apéndice “H”).

El gradiente de velocidad para el mapa de velocidades del Tope del Intramioceno estuvo alrededor de 35 pies/s por cada kilómetro de profundidad.

5.6 Mapas estructurales en profundidad

Los mapas en profundidad obtenidos son dominados estructuralmente por las fallas interpretadas (apéndices I, J, K y L), en especial por la falla Altamira y la falla Carrizal. El gradiente en profundidad para los Topes Precretácico, Cretácico, Oligoceno e Intramioceno en promedio son respectivamente de 75, 40.74, 46.42 y 20.73 pies por cada kilómetro de profundidad.

Cabe destacar que todas las superficies interpretadas poseen una componente principal de buzamiento al Norte, principalmente en dirección Noreste. El mapa de profundidad del Tope-Intramioceno, presenta zonas de mayor profundidad al Noreste formando una especie de anticlinal en el bloque Boyacá 5, lo que contradice al sistema de esfuerzos completamente extensivo que afecta al área, según la teoría que indica la evolución de la cuenca. Por lo tanto, se debe considerar que como la resolución sísmica es relativamente baja, podrían existir fallas inversas o inclusive algunas podrían tener expresión superficial o profundizar aún más, pero quizás el límite resoluble no permite apreciarlas en las secciones sísmicas.

5.7 Comprobación del modelo

Los pozos J115 y J28 no fueron empleados para la elaboración del modelo en profundidad por no disponer de registro de tiro de verificación sísmica (*TVS o checkshot*). Por ello, fueron seleccionados para comprobar el modelo en profundidad elaborado.

Para comprobar el modelo en profundidad, se empleó las profundidades (respecto al nivel del mar) de los Topes Precretácico, Cretácico, Oligoceno e Intramioceno del pozo J115; siendo estos 3391 pies, 2319 pies, 1670 pies y 798 pies

respectivamente. Seguidamente se determinó la profundidad reflejada en los mapas elaborados para cada nivel, proyectando las coordenadas del pozo J115 en cada mapa de nivel, con lo que se obtuvieron las profundidades respectivas 3391 pies, 2319 pies, 1670 pies y 798 pies. El error calculado en promedio para este pozo fue 2,55%.

De igual manera, se empleó las profundidades (respecto al nivel del mar) de los Topes Precretácico, Cretácico, Oligoceno e Intramioceno del pozo J28; siendo estos de 4300 pies, 2775 pies, 2200 pies y 1095 pies. Se proyectaron e interpolaron los valores de profundidad mostrados para el pozo J28 que fueron 4386, 2744, 2159 y 1091 pies, y se calculó el error porcentual asociado al modelo de profundidad y éste se ubico en un 1,34%.

Las diferencias entre las profundidades del pozo y la proyectada para la comprobación del modelo se calculó en base al promedio del porcentaje de error, para luego con este estimar a cuantos pies equivaldría para compararlo con la resolución sísmica vertical obtenida para toda la secuencia cretácico-terciario, obteniéndose que el modelo en profundidad creado es lo suficientemente válido , ya que los valores obtenidos son menores que la resolución sísmica vertical calculada.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En términos generales, el promedio de coeficientes de correlación se ubicó en un 54% , considerándose éste como un buen porcentaje en el ajuste sísmica-pozo a nivel general.
- En las secciones sísmicas en tiempo, se observó para el Tope Precretácico terminaciones como discordancias al tope de la secuencia de tipo de “truncaciones erosionales”, asociada a superficies erosivas, anterior a la transgresión del Cretácico. Para el Tope Oligoceno se observó terminaciones de base tipo “downlap” asociadas a periodos de regresión al final de ese períodos, mientras que para el Tope Intramioceno se logró observar terminaciones de tope tipo “toplap”, asociados a procesos tectónicos, a pesar de la baja calidad de la sísmica y del alto porcentaje de estáticas para tiempos menores a los 500 ms.
- El Tope del Precretácico se observa con claridad en las secciones sísmicas debido al fuerte contraste de impedancia acústica.
- En los bloques en estudio la secuencia Cretácico – Terciario está fuertemente ligada a los procesos tectónicos de la Cuenca Oriental de Venezuela. La cuenca presenta buzamiento al Norte profundizando hacia el Noreste y se observó claramente el acuñaamiento hacia el Sur de los Topes Cretácico y Oligoceno contra el Tope Precretácico, debido a una secuencia de baja energía.
- Las estructuras geológicas principales en la secuencia Cretácico – Terciario del bloque en estudio, son fallas normales con saltos comprendidos entre 40 y 90 pies con orientación preferencial a la N67E aproximadamente. Las fallas interpretadas como 2 y 3-3A corresponden a la Falla Altamira y Falla Carrizal, respectivamente. Siendo estas las que presentaron un mayor salto de falla. Adicionalmente, se observó un segundo grupo de fallas con orientación

aproximada a la N20E. Posiblemente, existan en la zona fallas inversas que no se aprecian por ser presentar saltos de falla muy pequeños y no ser apreciables debido a la resolución vertical de la sísmica.

- El límite de resolución de Widdes permitió distinguir saltos de fallas en estructuras geológicas de 40 pies.
- Los Topes Cretácico y Oligoceno se acuñan contra el Tope Precretácico hacia el sur de la Cuenca Oriental de Venezuela,
- Las curvas del mapa en tiempo del Tope Precretácico buzan gradualmente al Noreste, mientras que las curvas del Sureste de este tope, lo hacen al Suroeste. En los mapas en tiempo de los Topes del Cretácico y del Oligoceno, las curvas también buzan gradualmente al Noreste, mientras que el Tope Intramioceno se observa una tendencia irregular al Sur del área. En general el gradiente aproximado para los cuatro horizontes es de 12 ms/km
- El mayor gradiente de velocidad se observó en el Tope Precretácico y el menor en el Tope Oligoceno. En promedio el gradiente fue de 43 pies/s de variación por kilómetro de profundidad.
- Los mapas en profundidad están dominados estructuralmente por las fallas interpretadas, en especial por la falla Altamira y la falla Carrizal. El mayor gradiente en profundidad correspondió al Tope del Precretácico y el menor al tope del Intramioceno
- En general, en todos los mapas de superficie generados, se observa el aumento de profundidad al Noreste de la Cuenca Oriental de Venezuela.
- También se destaca el contraste entre la roca Precretácica con la secuencia Cretácico-Terciario.
- Los pozos J115 y J28 fueron seleccionados para comprobar el modelo en profundidad elaborado por no disponer de registro de tiro de verificación sísmica.

- El error promedio, calculado en los dos pozos de comprobación del modelo en profundidad fue de 2,55% y 1,34%, márgenes de error tan bajos que validan el modelo en profundidad elaborado por corresponder a profundidades en pies menores a la resolución sísmica vertical.
- Se recomienda referenciar todas las campañas de adquisición a un mismo datum sísmico, de igual manera se recomienda procesar todas las líneas desde cero para evitar las tan variadas secuencias de procesamiento, que dificultan la interpretación, al momento de amarrar líneas sísmicas de diferentes campañas de adquisición. Se proponen nuevas campañas de adquisición con orientación de los tendidos a la N200 por ser esta dirección ortogonal al rumbo de las fallas principales interpretadas.
- Se recomienda mantener el uso de ondícula extraída de la sísmica de fase cero para la realización de los sintéticos, ya que es simétrica y su pico de amplitud coincide con el valor de coeficiente de reflectividad

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

Bally, A. (1987). Atlas of seismic stratigraphy. AAPG, vol 1, pp 1-9.

Bochkarev, V., Guerra, C., Solorzano, E., Morales, E. (2007). Estudio Geológico en área Junin. PDVSA y LUKOIL Oil Company.

Box, R. y P. Lowrey. (2003). Reconciling sonic logs with checkshot surveys: Stretching synthetics seismograms. The Leading Edge, 22, no. 6, 510-517 pp.

Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (1997). Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV). PDVSA – INTEVEP. Recuperado el 23 de febrero, 2007, de: [http:// www.pdv.com/lexico](http://www.pdv.com/lexico)

De Rojas I., (1987). “Geological evaluation of San Diego Norte Pilot Project, Zuata area, Orinoco Oil Belt, Venezuela”. AAPG Vol. 71 (10): 1294-1303.

Di Croce, J. (1999). Estratigrafía secuencial y Evolución estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Erlich, R. and S. Barrett (1992). Petroleum Geology of the Eastern Venezuelan Foreland Basin in Foreland Basins and Fold Belts. Editores R.W.Macqueen and D.A.Leckie. Memorias de la AAPG 55: 341-362.

Eva, A. y otros. (1989). Four-phase tectonostratigraphic development of southern Caribbean. Marine and Petroleum Geology, 6: 9-21.

González de Juana C., J. Iturralde de Arozena y X. Picard (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ed. Foninves, 2 tomos, pp. 1021.

Hedberg, H. and H. Funkhouser (1947). Oilfields of the Greater Oficina Area, central Anzoátegui, Venezuela. AAPG, 31(12): 2089-2169.

Isea, A. (1987). Geological synthesis of the Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela. Journal of Petroleum Geology, 10(2): 135-148.

Kiser (1987). Exploration Results, Machete Area, Orinoco Oil Belt, Venezuela. Journal of Petroleum Geology, 10(2): 149-162.

Liner, C. (2004). Elements of 3D seismology. Segunda edición, Editorial PennWell, 608pp.

Mencher, E., H. Fichter, H. Renz, W. Wallis, J. Patterson and R. Robie (1953). Geology of Venezuela and its oil fields. AAPG, Boletín 37(4): 690-777.

Mitchum, R. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy.

Moticska, P. (1985). Volcanismo Mesozoico en el subsuelo de la Faja Petrolífera del Orinoco, Estado Guárico, Venezuela. Memorias del VI Congreso Geológico Venezolano, pp. 1929- 1943.

Parnaud, F., Y. Gou, J-C. Pascual, Truskowski, O. Gallango, H. Passalacqua, and F. Roure, (1995). Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin, in Petroleum Basins of South America. Editores Tankard, Suarez y Welsink. Memorias de la AAPG 62, p. 741-756.

Patterson, J. and J. Wilson (1953). Oil fields of Mercedes region, Venezuela, AAPG. Boletín 37(12): 2705-2733.

PDVSA (1983). Evaluación exploratoria de la Faja Petrolífera del Orinoco,

PDVSA (2007). Diagnóstico Área Boyacá Faja Petrolífera del Orinoco.

PDVSA(2008). Memoria descriptiva, Bloque Junín.

Pendrel, J. (2001). “Seismic Inversion: The best tool for Reservoir Characterization”, CSEG Recorder, pp. 16-23.

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

Pinto, R. (2007). Interpretación sismoestratigráfica y estructural de la secuencia sedimentaria (cretácico-terciario) del bloque norte del área Boyacá, faja petrolífera del Orinoco. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 106pp.

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

Spaillat, F. (2008). Modelado estructural tridimensional del Bloque Junín 2 de la Faja Petrolífera del Orinoco. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 98pp.

Taner. M. T., Sheriff, E. “Application of Amplitude, Frequency, and Other Attributes to Atratigraphic and Hydrocarbon Determination”. AAPG Memoir 26, Seismic Stratigraphy – Aplications to Hydrocarbon Exploration, pp 301-327 (1977).