

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTERPRETACIÓN SÍSMO-TECTÓNICA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO ESTRUCTURAL DEL EOCENO EN EL CAMPO AMBROSIO, MARACAIBO ESTADO ZULIA

Trabajo Especial de Grado, Presentado
ante la ilustre *Universidad Central
de Venezuela* para optar al título de
Ingeniero Geofísico, por la
Br. Alfaro Montilla, Rosa Virginia.

Caracas, julio 2005.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTERPRETACIÓN SÍSMO-TECTÓNICA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO ESTRUCTURAL DEL EOCENO EN EL CAMPO AMBROSIO, MARACAIBO ESTADO ZULIA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José M. Cavada.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Marcos Romero.

Trabajo Especial de Grado, Presentado
ante la ilustre *Universidad Central
de Venezuela* para optar al título de
Ingeniero Geofísico, por la
Br. Alfaro Montilla, Rosa Virginia.

Caracas, julio 2005.

DEDICATORIA

A mis abuelos Carmen Leonor y Lorenzo por ser mis guías y ángeles guardianes en todo momento.

A mis padres porque sin su amor no pudiera estar donde estoy.

A mi hermano Miguel Lorenzo por su amor incondicional.

A mi sobrino por ser mi luz y esperanza te quiero mucho Dios te bendiga.

A mí por mi constancia, dedicación en toda mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres por ser mis guías, amigos en todo momento y la mayor fuente de inspiración en mi vida, gracias por todo lo que me han dado sus consejos, su amor y su apoyo.

A mi hermano por ser el mejor ejemplo a seguir que tengo y ser mí mejor amigo.

A la Universidad Central de Venezuela por ser mi escuela durante estos años y permitirme forjarme un futuro. En especial al Departamento de Geofísica.

A mi Tutor Académico el Prof. José Cavada, por su ayuda, enseñanzas y consejos durante estos años.

A PDVSA OCCIDENTE por darme la oportunidad de trabajar en sus instalaciones y de tener la experiencia de laborar en la industria petrolera.

A mi Tutor Industrial el Ing. Marcos Romero por su apoyo, amistad, sus consejos y ser mí guía en la elaboración de este trabajo, mil gracias.

Al Ingeniero Edixon Marqués por su amistad, consejos, enseñanzas y apoyo durante mi carrera y la elaboración de este trabajo.

Al personal de Gerencia Técnica Exploración Occidente por su ayuda en la elaboración de este trabajo, en especial a los Ing. Jesús Rodríguez, Orlando Parra,

José Montoya, David Contreras, Aisha Páez, Amran Benguigui, Jacqueline Grobas, Jorge Acosta. Así como a Carmen Peña por su ayuda y paciencia en todo momento.

A mi amigo Israel Graterol por su amistad, compañía y apoyo incondicional todos los días durante estos años.

A todos mis amigos en especial Claudia Arias, Adriana Bastardo, Marianne Yanez, Javier Mitrotti, Kenny García, Nelson Oriach, Eduin Amarís Miguel Ángel Castillo, por su sincera amistad y apoyo durante estos años los quiero mucho.

A mis compañeros de trabajo Martha Ortiz, Ricardo Rangel y Norelis Leal por su amistad y apoyo durante este tiempo

A mis amigos Maria de los Ángeles, Alvis y José Miguel por ser mi familia y amigos durante estos meses gracias, los quiero mucho.

Muchas Gracias.....

RESUMEN

Alfaro Montilla, Rosa Virginia

INTERPRETACIÓN SÍSMO-TECTÓNICA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO ESTRUCTURAL DEL EOCENO EN EL CAMPO AMBROSIO, MARACAIBO ESTADO ZULIA

Tutor Académico: José M. Cavada. Tutor Industrial: Ing. Marcos Romero. Trabajo Especial de Grado. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geofísica. Julio 2005, 101 Páginas.

Palabras Claves: interpretación, inversión, balanceo.

En PDVSA Occidente actualmente se están realizando varios estudios regionales para determinar posibles oportunidades exploratorias en los próximos 10 años. El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado es la elaboración de un modelo estructural en el Eoceno del Campo Ambrosio perteneciente al proyecto Maracaibo Oeste el cual es uno de los proyectos de investigación exploratoria que actualmente tiene PDVSA Occidente. Este estudio se realizará por medio de la interpretación sísmica 2D, para posteriormente elaborar los mapas estructurales en tiempo y profundidad; luego se realizará un balanceo de secciones geológicas para determinar la historia geológica de la zona.

Se interpretaron 23 líneas sísmicas pertenecientes a dos levantamientos de los años 1979 y 1994 a los cuales se les realizó un balanceo sísmico tomando las discordancias del Eoceno y del Paleoceno como marcadores regionales. Para la elaboración del modelo de velocidad se utilizaron seis pozos reales existentes en la zona de estudio y se generaron nueve pozos ficticios; dado que tres de los pozos reales no poseían registro sísmico se les creó un registro sísmico (DT) sintético utilizando la Ecuación de Faust, generando así tres metodologías para la elaboración de los sismogramas sintéticos: la primera para los pozos reales con registro sísmico y de densidad; la segunda para los pozos reales con DT sintético; y la tercera para los pozos ficticios a los cuales se les asignaron los registros de los pozos reales cercanos tomando en cuenta su ubicación con respecto a la falla principal.

Para la elaboración de los mapas en profundidad se utilizaron dos metodologías: para la Discordancia del Eoceno, Fm. Misoa Miembro B-8 y Miembro C-2 se utilizó la conversión a través del modelo de velocidad; para el horizonte sísmico y la Discordancia del Paleoceno se generaron mapas de velocidad debido que el modelo de velocidad no posee un buen amarre a estas profundidades ya que sólo tres pozos reales alcanzan esta profundidad y se encuentran dos al este y uno al norte de la zona de estudio.

Los mapas estructurales tanto en tiempo como en profundidad de los 5 horizontes poseen menores valores de tiempo y profundidad respectivamente hacia el noreste buzando hacia el suroeste esto se correlaciona con que la zona de estudio se encuentra en la parte alta de la cuenca del Lago de Maracaibo, se observa de igual forma engrosamiento de los estratos hacia el noreste. La falla lítrica principal se encuentra al este de la zona de estudio con rumbo noreste-suroeste la cual afecta todos los estratos de interés, se observa una segunda falla lítrica al noroeste con el mismo rumbo que la falla principal pero sólo afecta la Discordancia del Paleoceno y fallas normales Post-Eoceno en el este de la zona de estudio.

El Paleoceno y el Eoceno Medio (previo a la sedimentación de la Fm. Misoa Miembro C-2) se caracterizó por ser una zona de extensión, generando un rollover en el bloque este de la falla principal. Posteriormente se observa un periodo de relativa calma con sedimentación y subsidencia (Fm. Misoa Miembro C-2 al Miembro B-8). Entre el Eoceno Tardío y el Oligoceno el levantamiento de la Serranía de Perijá produce una compresión levantando la secuencia y generando la Discordancia del Eoceno, para el Mioceno el levantamiento de la Cordillera de Los Andes produce una inversión, la cual se ve representada en la falla principal como un reactivación inversa.

La inversión es según este estudio mayor en el sur de la falla que en el norte, y la sección geológica al norte presenta un acortamiento de 2% mientras que la sección al sur presenta un acortamiento de 3%, esto puede indicar una rotación horaria colocando como pivote de rotación el extremo norte de la falla principal. Este sentido de rotación correlaciona con la rotación regional observada en la cuenca para el Mioceno.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatoria.	iv
Agradecimientos.	v
Resumen.	vii
Índice general.	ix
Índice de figuras.	xii
Índice de tablas.	xvi
Índice de anexos.	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Objetivos y alcances.	2
1.3 Ubicación del área de estudio.	3
1.4 Antecedentes.	4
1.5 Justificación.	5
CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO	6
2.1 La Cuenca del Lago de Maracaibo (Estratigrafía y Tectónica).	6
2.2 Marco Estratigráfico del Campo Ambrosio.	14
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	21
3.1 Resolución sísmica vertical.	22
3.2 Sísmica de pozos.	22

	Página
3.3 Calibración sísmica vertical.	23
3.4 Tiros de verificación (check-shots).	24
3.5 Sismogramas sintético.	24
3.6 Conversión tiempo-profundidad.	25
3.7 Balanceo de secciones geológicas.	26
3.7.1 Fallas extensionales.	27
3.7.2 Marco tectónico de sistemas extensionales de falla.	27
3.7.2.1 Sistemas de fallas extensionales de corteza.	27
3.7.2.2 Sistemas extensionales con despegues superficiales.	28
3.7.3 Clasificación de fallas extensionales.	28
3.7.4 Clasificación geométrica en 2D.	29
3.7.5 Falla lístrica simple.	30
3.7.6 Tectónica de inversión.	33
3.7.6.1 Estructuras de cabeza de flecha o de arpón.	34
3.7.7 Método para balancear fallas lístricas.	35
3.7.7.1 Cálculo de despegue para fallas lístricas.	35
3.7.7.2 Construcción chevron para fallas lístricas.	36
3.7.7.3 Construcción por método de cizalla de despegue en falla lístricas.	37
3.7.8 Construcción de una sección balanceada.	39
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	40
4.1 Organización de datos.	43
4.2 Selección de Reflectores.	43
4.3 Balanceo sísmico.	43
4.4 Sismogramas sintéticos.	45
4.4.1 Sismogramas sintéticos de pozos reales con registro sísmico y de densidad.	47

	Página
4.4.2 Sismogramas sintéticos de pozos reales sin registro sísmico y densidad constante.	50
4.4.3 Sismogramas sintéticos para pozos ficticios.	51
4.5 Resolución sísmica vertical.	53
4.6 Interpretación de horizontes.	55
4.7 Interpretación de fallas.	56
4.8 Mapas en tiempo.	57
4.9 Conversión de tiempo a profundidad.	57
4.10 Mapas en profundidad.	58
4.11 Balanceo de secciones geológicas.	61
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	65
5.1 Resolución vertical.	65
5.2 Curvas de velocidad.	66
5.3 Modelo de velocidad.	74
5.4 Mapa estructurales en tiempo y profundidad de los 5 horizontes interpretados.	76
5.5 Balanceo de secciones geológicas.	89
ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	3
2.1. Mapa geológico de la zona de estudio.	6
2.2. Columna geológica de la Cuenca del Lago de Maracaibo.	12
2.3. Mapa geotectónico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.	13
2.4 Columna estratigráfica del Campo Ambrosio.	14
2.5. Mapa isópaco de la Formación La Luna.	17
3.1. Clasificación de fallas extensionales.	29
3.2. Geometría característica del bloque colgante de una falla lítrica simple.	30
3.3. Modelo sinóptico para una falla lítrica simple.	31
3.4. Extensión sobre una falla lítrica simple con un despegue basal basculado.	32
3.5. Concepto general para la extensión e inversión.	33
3.6. Desarrollo de una estructura de cabeza de flecha o de arpón en la inversión de un sistema de half-graben.	34
3.7 Cálculo de despegue para fallas lítricas.	35
3.8 Construcción chevron, paso 1.	36
3.9 Construcción chevron , paso 2.	36
3.10 Construcción chevron, paso 3.	36
3.11 Construcción chevron , paso 4.	37
3.12 Construcción chevron, paso 5.	37
3.13 Construcción por método de cizalla, paso 1.	37
3.14 Construcción por método de cizalla, paso 2.	38
3.15 Construcción por método de cizalla, paso 3.	38
3.16 Construcción por método de cizalla, paso 4.	38
3.17 Diagrama de flujo para la construcción de una sección balanceada.	39

Figura	Página
4.1. Flujograma de las aplicaciones de LandMark y de programas utilizados en el desarrollo del trabajo.	40
4.2. Esquema de la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos.	42
4.3. Distribución de las líneas por levantamiento.	44
4.4. Mapa de la zona de estudio con la distribución de los pozos reales y ficticios.	45
4.5. Ondícula teórica vs. ondícula extraída de la sísmica del pozo 2.	48
4.6. Ejemplo del sismograma sintético del pozo 1, calculado con la aplicación Syntool.	49
4.7. Sismograma Sintético del Pozo 9, donde se observa el ajuste del sintético para las dos líneas sísmicas.	52
4.8. Ubicación de las líneas sísmicas interpretadas.	53
4.9. Comparación de la tendencia del mapa en tiempo vs. el mapa en profundidad de la Discordancia del Paleoceno.	59
4.10. Comparación de la tendencia del mapa velocidad sin editar vs. el mapa en velocidad editado de la Discordancia del Paleoceno.	60
4.11. Dirección del transporte tectónico con respecto a la dirección de las líneas sísmicas.	61
4.12. Método de cizalla inclinada estado inicial.	63
4.13 Método de cizalla inclinada estado final.	64
5.1. Curva de velocidad del pozo 1.	66
5.2. Curva de velocidad del pozo 2.	66
5.3. Curva de velocidad del pozo 3.	67
5.4. Curva de velocidad del pozo 4.	67
5.5. Curva de velocidad del pozo 5.	68
5.6. Curva de velocidad del pozo 6.	68
5.7. Curva de velocidad del pozo 7.	69
5.8. Curva de velocidad del pozo 8.	69
5.9. Curva de velocidad del pozo 9.	70
5.10. Curva de velocidad del pozo 10.	70
5.11. Curva de velocidad del pozo 11.	71

Figura	Página
5.12. Curva de velocidad del pozo 12.	71
5.13. Curva de velocidad del pozo 13.	72
5.14. Curva de velocidad del pozo 14.	72
5.15. Curva de velocidad del pozo 15.	73
5.16. Modelo de velocidad representando las 5 superficies interpretadas con escala vertical exagerada.	74
5.17. Modelo de velocidad representando la ubicación de los pozos utilizados.	75
5.18. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Eoceno.	76
5.19. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Eoceno.	77
5.20. Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro B-8.	78
5.21. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro B-8.	79
5.22. Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro C-2.	80
5.23. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro C-2.	81
5.24. Mapa estructural en tiempo del horizonte sísmico.	82
5.25. Mapa de velocidad del horizonte sísmico.	83
5.26. Mapa estructural en profundidad del horizonte sísmico.	84
5.27. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno.	85
5.28. Mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno.	86
5.29. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Paleoceno.	87
5.30. Ubicación de las secciones geológicas a balancear.	89
5.31. Sección geológica A-A' con una extensión de 22,5 km.	90
5.32. Horizontalización de la Discordancia del Eoceno de la sección A-A'.	91
5.33. Regresión de la inversión tectónica de la Miembro B8 de la sección A-A'.	91
5.34. Horizontalización de la Miembro B8 y de la Miembro C2 de la sección A-A'.	92
5.35. Regresión del movimiento normal del horizonte sísmico de la sección A-A'.	92
5.36. Horizontalización del horizonte sísmico de la sección A-A'.	93

Figura	Página
5.37. Regresión del movimiento normal de la Discordancia del Paleoceno de la sección A-A'.	93
5.38. Horizontalización de la Discordancia del Paleoceno de la sección A-A'.	94
5.39. Sección geológica B-B' con una extensión de 19.5 km.	95
5.40. Regresión de la inversión tectónica de la Discordancia del Eoceno de la sección B-B'.	95
5.41. Horizontalización de la Discordancia del Eoceno de la sección B-B'.	96
5.42. Regresión de la inversión tectónica de la Miembro B8 de la sección B-B'.	96
5.43. Horizontalización de la Miembro B8 y de la Miembro C2 de la sección B-B'.	97
5.44. Regresión del movimiento normal del horizonte sísmico de la sección B-B'.	97
5.45. Horizontalización del horizonte sísmico de la sección B-B'. 98	
5.46. Regresión del movimiento normal de la Discordancia del Paleoceno de la sección B-B'.	98
5.47. Horizontalización de la Discordancia del Paleoceno de la sección B-B'.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
4.1 Registros utilizados para la realización de los sismogramas sintéticos.	46
4.2. Constantes A y B para la elaboración de los registros sónicos (DT) sintéticos.	50
4.3. Tiempos inicial y final para el cálculo de la frecuencia dominante del intervalo Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa miembro B8, para la línea 16.	54
4.4. Tiempos y profundidades iniciales y finales tanto de la Discordancia del Eoceno como de la Fm. Misoa miembro B8 para el cálculo de la velocidad interválica.	55
4.5. Horizontes interpretados, la polaridad de sus amplitudes y sus tiempos mínimos y máximos.	56
5.1. Resolución vertical en los 5 intervalos estudiados de las 4 líneas seleccionadas.	65
5.2. Profundidad máxima y última formación observada para cada pozo.	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
A. Velocidades interválicas y frecuencias dominantes para el cálculo de la resolución sísmica	111
B. Líneas en tiempo interpretadas.	114
C. Líneas en profundidad interpretadas cercanas a las secciones geológicas balanceadas	137
D. Tablas de las T-Z.	145
E. Mapas estructurales en tiempo sin editar.	157
F. Mapas de velocidades.	161
G. Mapas estructurales en profundidad sin editar.	163

INTRODUCCIÓN

La Coordinación de Exploración y Producción de PDVSA, tiene como objetivo principal el estudio y búsqueda de nuevas oportunidades exploratorias de hidrocarburos tanto en áreas poco estudiadas como en zonas ya productoras, esto se debe a que es necesario identificar y validar reservas de hidrocarburos que permitan obtener y aumentar el potencial de producción a escala nacional del principal recurso de exportación nacional. En particular PDVSA Occidente actualmente está realizando varios estudios regionales para la determinación de posibles oportunidades exploratorias en los próximos años.

El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado es la elaboración de un modelo estructural de las formaciones geológicas del Eoceno para complementar el estudio del Campo Ambrosio, perteneciente al proyecto Maracaibo Oeste, en la búsqueda de posibles yacimientos de hidrocarburos específicamente de gas.

Este estudio se realizará por medio de la interpretación sísmica 2D de levantamientos de los años 1979 y 1994, utilizando la Plataforma LandMark como herramienta de interpretación, para posteriormente elaborará los mapas estructurales en tiempo y profundidad; luego se realizará un balanceo de secciones geológicas para determinar la historia geológica de la zona.

La geología de la cuenca está enmarcada por un período extensión en el Triásico-Jurásico, por subsidencia en el Cretácico. El Paleoceno-Eoceno-Oligoceno está caracterizado por compresión, mientras que para el Mioceno-Plioceno se observa la rotación horaria del bloque de Maracaibo, produciendo inversión en las estructuras previas.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

Realizar la interpretación sismo-tectónica de datos sísmicos 2D, con el fin de generar un modelo estructural del Campo Ambrosio.

Objetivos específicos:

Balancear dos secciones geológicas de Maracaibo Oeste, para la determinación de la evolución tectónica de la zona de estudio.

Generar mapas estructurales en tiempo de la zona de estudio para los 5 horizontes interpretados.

Generar mapas estructurales en profundidad de la zona de estudio para los 5 horizontes interpretados.

LOCALIZACIÓN

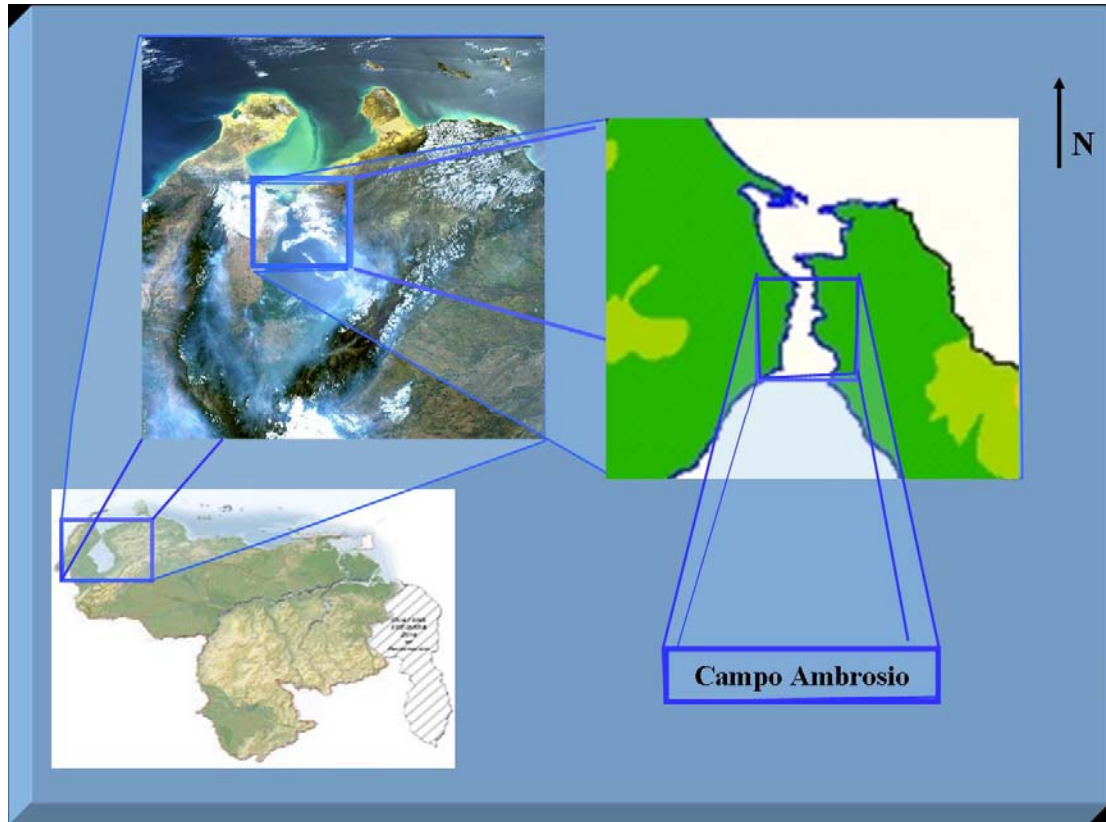


Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

La zona de estudio tiene como límites al este la ciudad de Maracaibo y Santa Rita, al oeste La Concepción, al norte la Ciénaga de las Peonías, incluyendo las localidades de San Francisco y el aeropuerto de La Chinita, Estado Zulia.

La zona de estudio se encuentra en el bloque levantado de la cuenca del Lago de Maracaibo y en el bloque levantado de la falla de Icotea.

ANTECEDENTES

La cuenca del Lago de Maracaibo ha sido estudiada exhaustivamente dado que es una de las principales zonas petrolíferas del país. En cuanto al Campo Ambrosio es una de las pocas zonas que no se han estudiado en detalle dado que se encuentra en la parte alta de la cuenca y es una de las zonas menos deformadas, por lo que se considera que tiene escasa probabilidad de presentar trampas estratigráficas o estructurales.

Los levantamientos sísmicos existentes en la zona son en su mayoría de los años 1970 a 1980 siendo el más reciente el del año 1994. Los pozos perforados son de los años 1950 a 1960. Actualmente (2005) se están realizando estudios para la búsqueda de gas en la cuenca del Lago de Maracaibo y en todo el país y entre las zonas con posibilidad de ser prospectivas se encuentra el Campo Ambrosio dado que algunos pozos presentaron producción de hidrocarburo en el momento de su perforación aunque actualmente están declarados como secos o cerrados.

La parte sur de este campo ha sido estudiada por la compañía Perenco y existe una interpretación sísmica realizada por esta compañía (Guevara, 2004), en búsqueda de zonas prospectivas. De igual forma se están realizando estudios en toda la costa oriental y la parte noroeste de la cuenca.

JUSTIFICACIÓN

En Venezuela la principal fuente de ingresos es la explotación y exportación de hidrocarburos; por este motivo la caracterización de nuevos yacimientos de hidrocarburos, es de suma importancia ya que así se pueden aumentar las reservas nacionales y los ingresos económicos al país.

Desde hace unos años la prospección de gas en el occidente del país ha tomado mucho interés, por lo que actualmente se han presentado varios proyectos de exploración para la ubicación de yacimientos de gas y la caracterización de los mismos.

La interpretación sismo-tectónica es fundamental para la elaboración de modelos estructurales de la zona de estudio, donde se aplicarán diversos métodos y herramientas que permitan a la vez la generación de mapas estructurales en tiempo y profundidad, y de esta forma caracterizar mejor la zona. Esto se realizará por medio de la interpretación de aproximadamente 320 km de sísmica 2D.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO

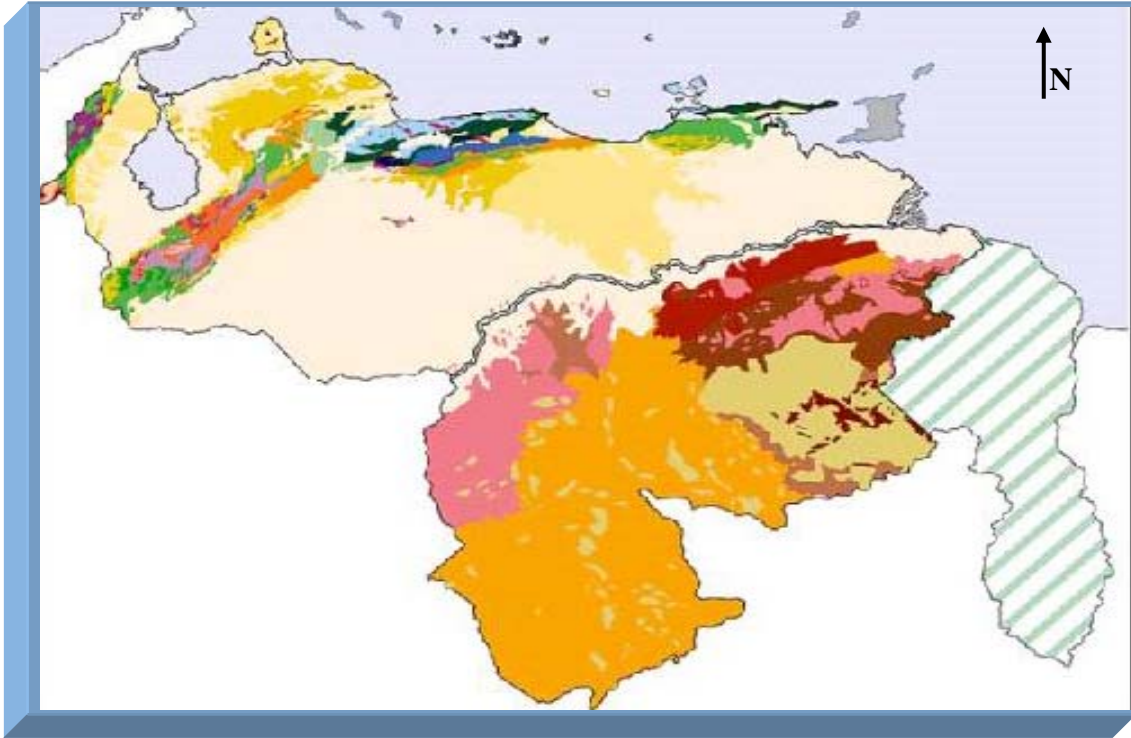


Figura 2.1. Mapa Geológico de Venezuela. (Tomado de a-venezuela.com)

2.1. La Cuenca del Lago de Maracaibo (Estratigráfica y Tectónica)

La Cuenca del Lago de Maracaibo ha presentado una serie de invasiones y regresiones marinas durante el tiempo geológico, las cuales han sido determinantes para la sedimentación de rocas madres generadoras de hidrocarburos y de rocas reservorios, así como varios períodos de orogénesis y epirogénesis que dieron como resultado las trampas adecuadas para la retención de los mismos hasta la actualidad (González de Juana et al, 1.980).

Las rocas más antiguas presentes en la Cuenca del Lago de Maracaibo son del Paleozoico Superior representadas por la Formación Mucuchachí, la cual se depositó en la antefosa producida por la convergencia entre Laurencia y Gondwana durante el Permo-Carbonífero (Bartok, 1.993).

Según González de Juana, et al, (1.980), la Formación Mucuchachí en ésta zona muestra efectos de metamorfismo regional, de grado esquistos verdes, que localmente alcanzan el grado de anfibolita. El ambiente sedimentario de la Formación Mucuchachí es marino, indicado por la abundancia de filita, pizarras, junto con la presencia de material carbonaceo y pirita, lo que indica fondos tranquilos, posiblemente restringidos.

A pesar de la presencia del hiatus entre el Paleozoico Inferior y la Formación Mucuchachí y que durante este período se presume que la meridional andina estuvo afectada por la orogénesis Caparoensis, no se ha encontrado un contacto angular entre éstos dos intervalos de tiempo. Durante el Pennsylvaniense continua la sedimentación continental de la Formación Sabaneta y de la Formación Palmarito, mostrando ambiente transicional de fluvial a marino (González de Juana, et al, 1.980).

El final del Pérmico está caracterizado por un período de orogénesis que en relación con los eventos orogénicos mundiales pudiera clasificarse como ocurrido al final de la Orogénesis Hersiniana, la cual se caracterizó por intrusiones graníticas sintectónicas, las cuales se encuentran emplazadas a nivel supracortical. La característica principal de esta orogénesis es la deformación tectónica (pliegues, fallas). Entre los cambios paleogeográficos ocurridos como consecuencia de la orogénesis se destaca la elevación del Cratón de Guayana y la retirada del mar hacia el norte, prácticamente en todo el occidente de Venezuela (González de Juana, et al, 1.980).

Durante el Triásico se inicia una etapa de relajamiento y rifting en la región de la Cuenca de Maracaibo y continúa hasta el Jurásico Superior, debido a la apertura del Océano Atlántico, como la extensión de la zona de retroarco, al este de la Cordillera Central Colombiana (Dengo and Covey, 1.993). Después de la separación de Norteamérica y Suramérica durante el Jurásico y Cretácico, la costa del Pacífico de Colombia pasó de un margen pasivo a uno activo. Producto de esta subducción ocurre el levantamiento del arco de la Cordillera Central de Colombia, desarrollándose al este de la misma una cuenca retroarco. La Cuenca del Lago de Maracaibo formó parte de este retroarco durante el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano. Durante el Jurásico se inicia la sedimentación de la Formación La Quinta, que representa el marco tectónico de rifting y retroarco (Ghosh, 1.995).

En el Cretácico se pasa a un margen pasivo, donde se sedimentan las formaciones Aguardiente y el Grupo Cogollo; la Formación La Luna representa un evento transgresivo que ocurrió durante el Cenomaniense hasta el Maestrichtiense, cuando también se depositó la Formación Colón y la Formación Mito Juan representada por ambientes marinos (Ghosh, 1.995). El final del Cretácico está caracterizado por un período de orogénesis que puede relacionarse con la Orogénesis Laramidiana de Estados Unidos y constituye el último evento tecto-termal importante conocido en Venezuela (González de Juana, et al, 1.980).

La colisión de la Placa Caribe contra el arco de Las Bahamas ocasiona un cambio de dirección del movimiento de la misma de E-W a sureste causando una rotación horario al norte de Venezuela durante el Paleoceno-Eoceno Inferior, esto trae como consecuencia la reactivación de estructuras Jurásicas, tales como: el alineamiento Lama-Icotea y la Falla Lama-Este, facilitando la rotación con movimientos transcurrente sinestrales (Ostos, 1990).

La colisión entre la Placa Caribe y el margen continental fue diacrónica en el norte de Venezuela, iniciándose para el Paleoceno Tardío en el Noroeste de la Cuenca

(Lugo, 1991). La sedimentación se produce en una cuenca “Foreland” producida a consecuencia de la flexura cortical, originando un estilo estructural definido por fallas extensionales con orientación noroeste. La plataforma Cretácica se basculó hacia la antefosa para adaptarse al movimiento, debido a la competencia de los sedimentos la plataforma se quebró generando fallas normales escalonadas que posteriormente se reactivaron controlando la sinsedimentación durante el Eoceno (Audemar, 1991).

La Cuenca del Lago de Maracaibo para el Paleoceno se mantiene autóctona, marina profunda y presenta parcialmente depósitos turbidíticos. Esta cuenca se divide en tres provincias principales (de suroeste a noreste): Deltaica que avanza de un complejo deltaico hacia el noreste y en la que se puede introducir la provincia de Barbacoas con desarrollo de complejos deltaicos y arrecifales; Plataforma con ambientes marinos calcáreos que desaparecen por invasión deltaica; Surco donde se acumularon sedimentos profundos, facies turbidíticas y olistostromos. Las formaciones sedimentadas en este lapso de tiempo son: Guasare, Marcelina, Trujillo y el Grupo Orocué (González de Juana, et al, 1.980).

Para el Eoceno Inferior la colisión oblicua del la Placa Caribe con la Placa Suramericana produce emplazamientos en dirección S-SE de las Napas de Lara. Como consecuencia de este emplazamiento se desarrolla un posible alto periférico en la zona central de La Cuenca de Maracaibo; una antefosa en Zulia Oriental y Falcón y fallas normales con buzamiento NNE, así como la reactivación de fallas tales como: Tigre-Cachirí, La Paz, Urdaneta Oeste, Urdaneta, Icotea, Pueblo Viejo y Begote. A nivel del Eoceno se puede observar un aumento de espesores hacia el NE. (Ghosh, 1.995).

Durante el Eoceno Inferior continua la regresión del Paleoceno y la progradación deltaica avanza de tal forma que sobrepasa la primitiva zona de bisagra y desaparece la sedimentación de caliza de plataforma. En el centro del Lago de Maracaibo el contacto Paleoceno-Eoceno muestra uno de los períodos de

inestabilidad característica del Terciario y se registra un período de erosión menor, que afecta a la Formación Guasare sólo parcialmente; esta erosión podría deberse a incisión fluvial por la progradación deltaica sobre la plataforma (González de Juana, et al, 1.980).

Las provincias que se pueden definir en el Eoceno Inferior son: Fluvial de ambientes de alta energía progradados sobre la antigua provincia deltaica; Deltaica ha progradado sobre la plataforma (Formación Guasare y Formación Misoa) y solapa gradualmente a los sedimentos de talud (Formación Trujillo); Barbacoas continúa la sedimentación del complejo deltaico-arrecifal. El paso de la provincia deltaica a la de surco es gradual a través del talud y en el surco hay sedimentación flysch con una provincia distribuida al norte: formaciones Matatere y Río Guache que fueron transportados tectónicamente hacia el sur durante el Terciario Superior, se inicia la sedimentación de la Formación Misoa (González de Juana, et al, 1.980).

Para el Eoceno Medio Temprano continua la sedimentación de la Formación Misoa en la Cuenca del Lago de Maracaibo. El Eoceno Medio Tardío fue un período de subsidencia y avance marino sobre las cuencas de Maracaibo y Barinas, con retroceso de las provincias fluviales y deltaicas. Retrocede la Formación Misoa y los ambientes deltaicos subaéreos son recubiertos sucesivamente por facies playeras (Caus, Masparrito), marinas abiertas (Paují, Paguey, Jarillal) y hasta ambientes turbidíticos (Formación Mene Grande y formaciones de los surcos). A finales del Eoceno Medio se producen movimientos tectónicos generalizados que exponen prácticamente toda la zona a erosión, convirtiendo a la Cuenca del Lago de Maracaibo en una zona positiva (González de Juana, et al, 1.980).

Para el Eoceno Superior producto de la colisión de las placas caribe y suramericana se origina el levantamiento de la Sierra de Perijá, produciendo esfuerzos compresionales sobre el Lago de Maracaibo en dirección NO-SE a E-O, causando la inversión del sistema transcurrente de rumbo N a N-NE, posiblemente la

Falla de Urdaneta sufrió inversión en este período de tiempo (Arminio et al, 1994). A finales del Oligoceno se inicia el levantamiento Andino provocando de igual forma compresión sobre la Cuenca del Lago de Maracaibo y generando la inversión estructural del sistema transcurrente N-S a NNE-SSO (Ostos, 1990).

La erosión del Eoceno Superior continúa durante el Oligoceno. En la zona noreste del la Subcuenca del Lago de Maracaibo se encuentra la Formación Icoatea discordante sobre el Eoceno truncado por debajo de la Formación La Rosa.

El comienzo de la sedimentación miocena se caracteriza por una transgresión marina de considerable extensión territorial dentro de los límites del Lago de Maracaibo, pero de duración relativamente corta. La Formación La Rosa es la primera en depositarse y pasa transicionalmente a la Formación Lagunillas, la cual presenta ambientes variables de marinos a salobres. Suprayacente se encuentra la Formación Isnotú que se correlaciona con la Formación La Puerta de Falcón, la cual pasa transicionalmente a la Formación Betijoque (González de Juana, et al, 1.980).

El levantamiento de la Cordillera Andina en forma predominante vertical y de la Sierra de Perijá a finales del Mioceno afecta el triángulo Oca-Boconó-Perijá delimitando toda la Cuenca de Maracaibo en su configuración actual (figura 2.3).

Para el Plioceno en ambas zonas costeras del Lago de Maracaibo afloran formaciones jóvenes de carácter no marino. En la zona costera occidental se distinguen la Formación Onia, transicional sobre la Formación La Villa. El ambiente sugerido es fluvial-lacustre con lagunas litorales, y en la zona de Maracaibo, se encuentra en discordancia sobre las formaciones La Villa, Lagunillas y otras más antiguas. El contacto superior es transicional con la Formación El Milagro. El Lago de Maracaibo probablemente estuvo sometido a oscilaciones en su nivel de aguas durante el Pleistoceno como consecuencia de las glaciaciones que influenciaron las condiciones climáticas. La unidad litológica más joven se describe como Formación

El Milagro la cual es transicional con la Formación Onia (González de Juana, et al, 1.980).

A continuación en la figura 2.2 se muestra la columna Estratigráfica de la Cuenca.

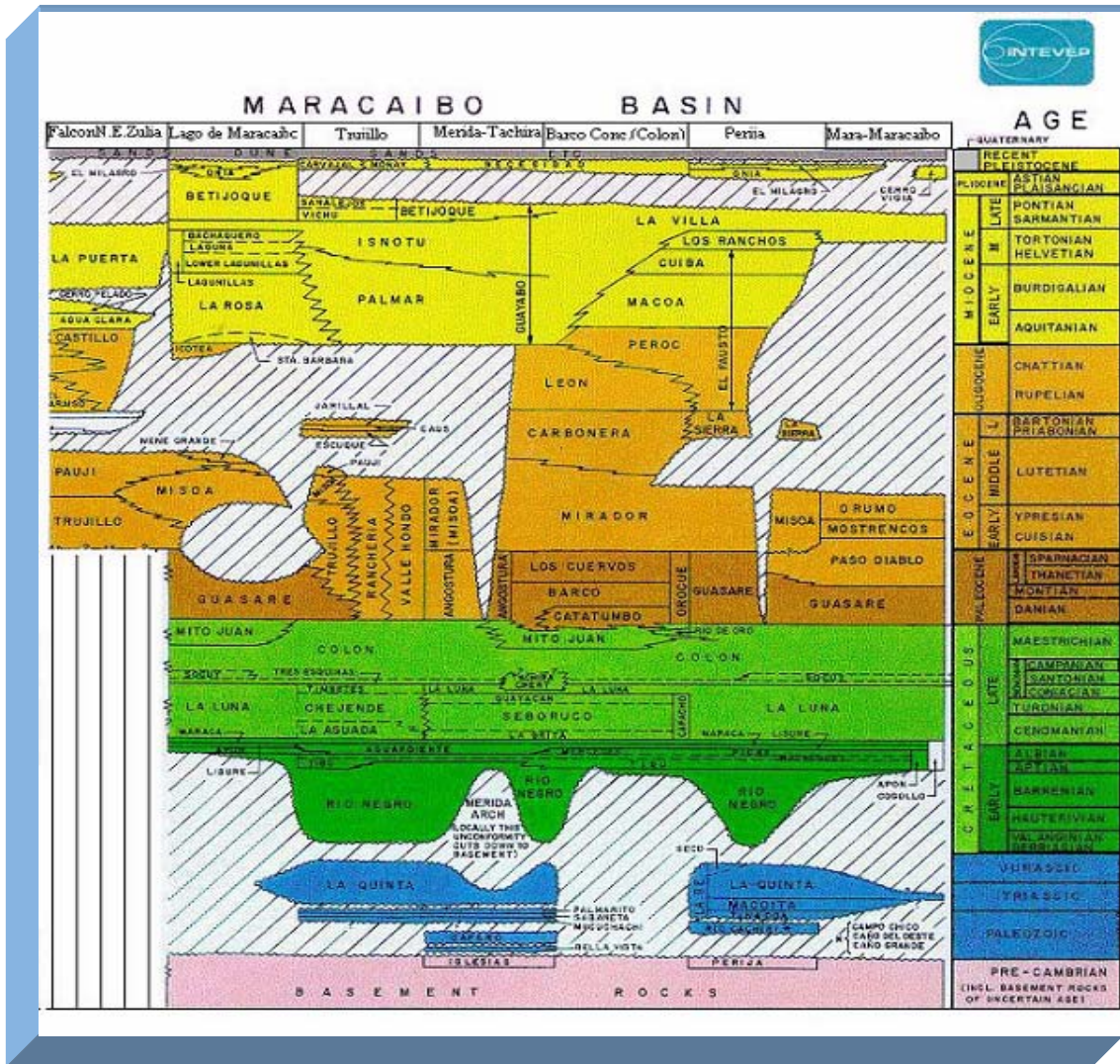


Figura 2.2. Columna geológica de la Cuenca del Lago de Maracaibo (PDVSA, 2004)

La Cuenca Petrolífera del Lago de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: La Sierra de Perijá al oeste, Los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este; el marco se completa con el sistema de fallas de Oca en el norte que aparentemente separa la Cuenca Petrolífera del Lago de Maracaibo propiamente dicha de la Cuenca del Golfo de Venezuela (Figura 2.3) (González de Juana, et al, 1.980).

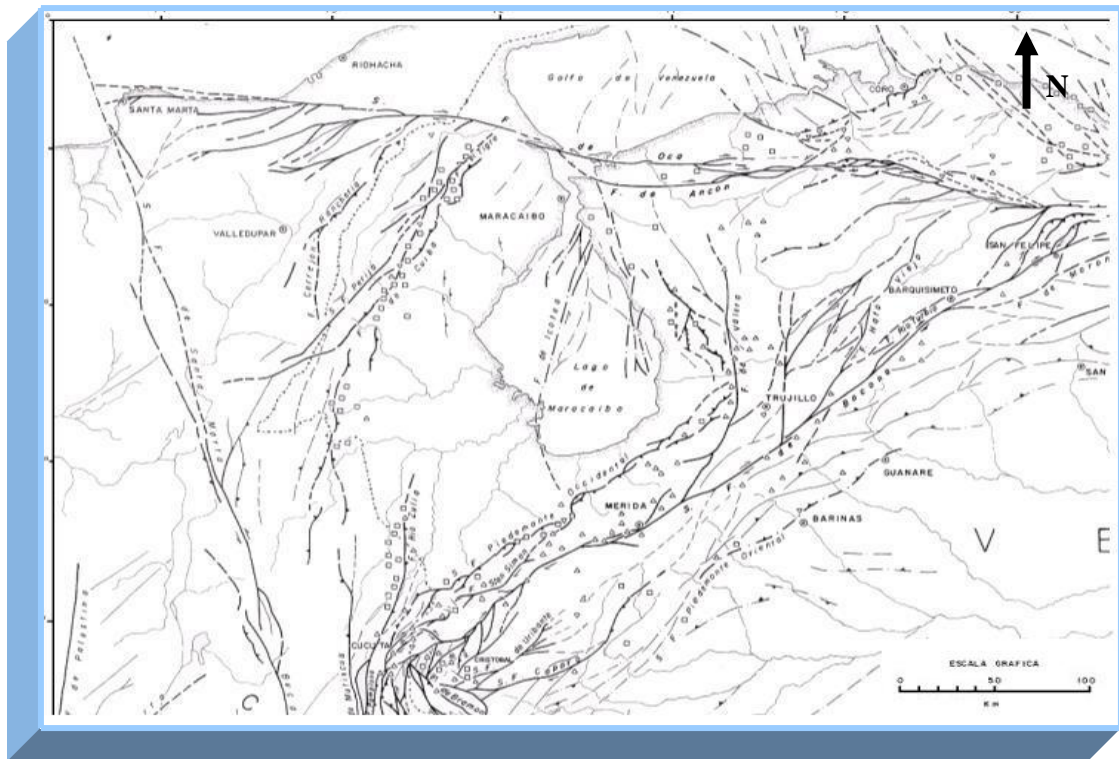


Figura 2.3. Mapa Geotectónico de la Cuenca del Lago de Maracaibo. (Beltran, 1993)

2.2 Marco Estratigráfico del Campo Ambrosio

Según Léxico estratigráfico versión III, (PDVSA, 2004) las formaciones de la Cuenca del Lago de Maracaibo presentes en el Campo Ambrosio poseen la siguiente descripción (figura 2.4).

Edad	Formación	
Mioceno	Fm. Isnotu	
	Fm. Lagunillas	
	Fm. La Rosa	
Eoceno	Fm. Misoa	
	Fm. Trujillo	
Paleoceno	Fm. Guasare	
	Fm. Mito Juan	
Cretácico	Fm. Colón	
	Fm. La Luna	
	Grupo Cogollo	Maraca
		Lisure
		Apon
	Fm. Río Negro	
Jurásico	Fm. La Quinta	

Figura 2.4 Columna estratigráfica del Campo Ambrosio

Formación La Quinta (Jurásico). Consta de tres intervalos: uno inferior, compuesto por una capa de toba vítrea de color violáceo; uno medio, consistente de una secuencia interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolitas y algunas capas delgadas de caliza, de color verde, blanquecino, gris o violáceo; y un intervalo superior, formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo, de color rojo ladrillo y marrón chocolate (Schubert *et al.*, 1979).

En la Sierra de Perijá, Maze (1984) describió a la Formación La Quinta en la quebrada La Ge, donde se divide en tres intervalos: uno inferior consistente de arcosa marrón a roja oscura, fina a mediana, con pocas intercalaciones volcánicas, y la cual contiene fragmentos vegetales y de carbón; una zona de transición la cual se compone de capas de basalto-andesita, conglomerado tobáceo, y arcosa verde, mediana a gruesa, con intercalaciones de arcosa marrón a rojo oscuro, y lutita roja a negra (rara vez verde) fosilíferas; y un intervalo superior, con rocas de grano más grueso (localmente conglomerado de cantos), consistente principalmente de arcosa roja oscura a marrón oscura, de grano grueso, y capas finas de ceniza félsica roja a rosada. El contenido de rocas volcánicas decrece de norte (donde predominan en la formación) a sur (hasta menos de la tercera parte del total).

El espesor de la Formación La Quinta es muy variable. En el estado Táchira se han medido los siguientes espesores (Schubert, 1986): 1610 m (sección tipo), 1270 m (San Juan de Colón), 3400 m (Angaraveca-El Zumbador), 1390 m (La Pulida), 1485 m (San Buenas) y 2400 m (Pregonero). En el piedemonte de Barinas, Schubert (1968) midió un espesor de 311 m. En la sierra de Perijá, Maze (1984) midió un espesor de 1700 m (quebrada La Ge). Aguasuelos (en, Kiser 1997) reporta espesores entre 1000 y 2000 m en estado Lara. La sección penetrada en el pozo colombiano Arauquita-1 mide 363 m, sin haber llegado a su base.

Formación Río Negro (Cretácico Temprano). Areniscas blancas, generalmente de grano grueso, conglomerados heterogéneos; arcillas y lutitas variables, típicamente en tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente sedimentaria, las areniscas varían desde muy cuarzosas (Surco de Uribante), a muy feldespáticas (Surco de Machiques) (Van Andel, 1958). En la parte media de la formación, se presentan horizontes de coloración rojiza que recuerdan a la Formación La Quinta y es posible que ello se deba a erosión y resedimentación de estratos de esa formación. Los términos superiores de esta columna, están formados por capas de areniscas conglomeráticas; con estratos alternantes de poco espesor de lutitas y limolitas oscuras. El contacto superior, está definido por la aparición de los primeros horizontes calcáreos de la Formación Apón. En el surco de Machiques, se midieron espesores de 1500 metros.

Grupo Cogollo (Cretácico Temprano). Su litología es variada. De base a tope se caracteriza por calizas densas, fosilíferas, con cantidades subordinadas de lutitas oscuras y pocas arenas calcáreas. En Perijá, se presenta un intervalo de calizas negras, bituminosas (Miembro Machiques) y luego por encima, calizas coquinoideas, margosas y nodulares, una sección distintiva de areniscas, calizas glauconíticas, intercaladas con lutitas y un intervalo superior de calizas macizas, de color gris claro, con muchos moluscos, intercaladas con lutitas delgadas. Está compuesto por las Formaciones Apón, Lisure y Maraca. En el subsuelo del lago de Maracaibo, León (1975) da un promedio de 268 m (805') para el campo Urdaneta Noreste y para el centro del lago. Bartok *et al.* (1993) consideran 610 m (2000').

Formación La Luna (Cenomaniense - Campaniense). Consiste típicamente de calizas y lutitas calcáreas fértidas, con abundante materia orgánica laminada y finamente dispersa, delgadamente estratificadas y laminadas, densas, de color gris oscuro a negro; la efanita negra es frecuente en forma de vetas, nódulos y capas

delgadas. Los espesores en la Cuenca de Maracaibo varían entre 100 y 300 metros, con tendencia a aumentar de sur a norte (figura 2.5).

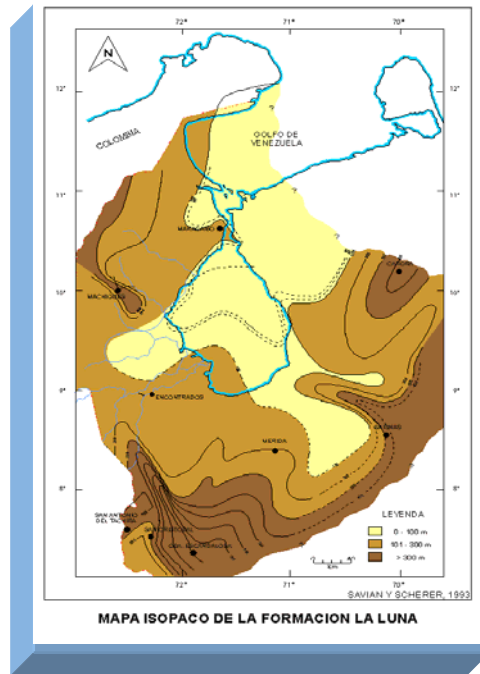


Figura 2.5. Mapa Isópaco de la Formación La Luna (Savian, 1.993).

Formación Colón (Maastrichtiense). Se caracteriza por lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son más arenosas hacia la base y hacia la parte superior, donde la unidad cambia transicionalmente a la Formación Mito Juan. La formación Colón tiene un espesor de 900 metros en la localidad tipo.

Formación Mito Juan (Maastrichtiense Tardío). Se caracteriza por lutitas grises, gris verdosas y negras, localmente arenosas, en la cual el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas. En la parte inferior de la formación hay algunas arcillas laminares grises, que son indistinguibles litológicamente de las arcillas de Colón. Hedberg and Sass (1973) reportan espesores de 100 a 300 m para la formación. Según Sutton (1946) la formación Mito Juan varía entre 100 y 150 m con un espesor promedio de 200 m, el desarrollo máximo de la formación ocurre en la parte sur de la cuenca.

Formación Guasare (Paleoceno). Consiste en calizas pardo grisáceo a gris amarillento o gris, generalmente glauconíticas. Algunas capas son ricas en restos de *Ostrea* y *Venezulia*. Intercaladas con las calizas, se presentan lutitas y limolitas grises a parduscas y areniscas grises, calcáreas y glauconíticas. En el subsuelo del campo Alturitas, Key (1960) señala que la litología consiste principalmente en lutitas gris oscuro, arenosas, macizas o laminadas, areniscas marrón claro, calcáreas y glauconíticas, limolitas y arcilitas grises con esférulas de limolita, y en menor proporción caliza arenosa gris y algunas capas muy delgadas de carbón: esta litología es representativa de la transición lateral, a los sedimentos deltaicos del Grupo Orocué, (González de Juana *et al.* 1980).

En la sección tipo, el espesor (incompleto) de la Formación Guasare es de unos 120 m. En el río Cachirí es de 390 m, y en el río Socuy de 370 m. En el subsuelo de Alturitas, Key (1960) menciona de 165 a 193 m.

Formación Trujillo (Paleoceno-Eoceno). Está compuesta por lutitas gris azulado oscuro, a gris oscuro y negro y areniscas grises y pardas en menor proporción. Las lutitas son localmente micáceas y carbonosas; las areniscas son de grano fino a medio, micáceas y localmente carbonosas, bien estratificadas en capas de

unos pocos centímetros hasta 2 m. Sutton (1946) señala que la porción inferior de la sección la formación está notablemente endurecida, presentando vetas de cuarzo perpendiculares a la estratificación de las lutitas y areniscas, así como concreciones elipsoidales y discoidales calcáreas, arenosas y piríticas que meteorizan a masas ferrosas. También señala capas delgadas de carbón sub-bituminoso.

Formación Misoa (Eoceno). Está constituida por areniscas cuarcíticas de color gris claro en capas compuestas potentes, con intercalaciones de lutitas laminadas, micáceas y carbonosas (González de Juana, et al, 1.980). En el área del lago se encuentran capas delgadas de caliza, en la parte inferior. En la región descrita por Brondijk (1967), menciona un espesor compuesto de 5000 m, con una probable variación de 3500 a 5500 m. La unidad adelgaza hacia el oeste, donde se encuentra reducida por la erosión. Al norte del lago, frente a Maracaibo, hay 3.000 m preservados, con aproximadamente 1500 m erosionados.

Formación La Rosa (Mioceno). Su litología consiste en lutitas arcillosas, verdosas, más o menos fosilíferas, con una cantidad subordinada de capas de areniscas e interlaminaciones de areniscas y lutitas. Manger (1.938) indica que las lutitas son verdes-grisáceas, físciles, frecuentemente intercaladas con areniscas de grano fino a medio, grises, friables y lutitas arcillas de color gris a verdoso. Presenta lentes de areniscas de grano medio a fino, areniscas friables de grano grueso a mediano y algunas lutitas de color gris negruzco (González de Juana, et al, 1.980). La formación tiene un espesor variable relacionado con su sedimentación sobre la discordancia eocena. En la localidad tipo, el espesor varía de 180 a 250 m disminuyendo hacia el sur y el norte. Hacia el noreste del campo La Rosa, alcanza 1006 m en la estructura de Quiroz (Sutton, 1946.).

Formación Lagunillas (Mioceno). Está compuesta principalmente por una intercalación de lutitas, arcillitas, arenas, areniscas mal consolidadas y algunos lignitos. Miembro Lagunillas Inferior. Está compuesto por areniscas friables, de grano fino, de color variable de marrón a gris claro y a blanco, intercaladas con lutitas gris claro, gris verdoso o gris oscuro, localmente se encuentran lignitos. La Formación esta dividida en 5 miembros: Malargo, constituido por arenas; Ojeda está compuesto por lutitas, Laguna es arenoso con arcillas y areniscas glauconíticas; Urdaneta se caracteriza por la presencia de arcillas abigarradas y el carácter no gradacional de las areniscas y Bachaquero compuesto por intercalaciones de arcillas, lutitas, lutitas arenosas y areniscas pobremente consolidadas, con capas de lignitos de hasta 1,5 m de espesor (González de Juana, et al, 1.980).

Formación Isnotu (Mioceno). Predominan las arcillas, con numerosas areniscas intercaladas y capas subordinadas de arcilla laminar, carbón y conglomerado. Las arcillas son macizas pero blandas, de color gris claro, corrientemente abigarradas en rojo, púrpura y amarillo y localmente carbonáceas; las areniscas son de color variable, principalmente blancas a gris claro y se presentan en capes de 2 a 3 metros de espesor. En la faja de afloramiento el espesor es bastante constante de 1100 metros, disminuyendo al norte y al oeste.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

La prospección geofísica es la caracterización del subsuelo basada en las variaciones laterales o verticales de las distintas propiedades físicas de los materiales que lo componen, mediante mediciones no intrusivas. Se trata de una herramienta indirecta de ayuda a la hora de estudiar el subsuelo, que nunca sustituye cualquiera de los métodos directos aplicados a ese estudio (sondeos mecánicos), pero sí delimita las zonas de interés y ayuda a localizar las estructuras que se buscan.

Los métodos sísmicos, dado su gran poder de resolución y penetración, son las técnicas geofísicas más usadas en el mundo, se utilizan en la búsqueda de acuíferos; en ingeniería civil para calcular la profundidad a la que se encuentra la roca firme, en la exploración y explotación del carbón mineral y como método imprescindible en la exploración y producción de hidrocarburos. En la actualidad, es muy raro que se perfora algún pozo exploratorio y/o desarrollo, sin haberse analizado los datos sísmicos del área con anterioridad.

Los métodos sísmicos se clasifican en 2 métodos sísmicos de refracción y métodos sísmicos de reflexión. El método utilizado para esta investigación es el método de reflexión el cual consiste en reconstruir la disposición de las rocas en el subsuelo (estructura) y sus características físicas (litología, fluidos, etc.) a partir de la información grabada (tiempos de recorrido, las amplitudes, cambios de fase y/o frecuencia de las ondas).

Para realizar una interpretación sísmica se debe pasar por varias etapas previas que permitan correlacionar la información geológica, a partir de los pozos, con la información sísmica.

3.1 Resolución sísmica vertical

Es el límite de definición de eventos en el subsuelo, depende de los equipos de adquisición y de la configuración geométrica del levantamiento sísmico, de los parámetros y secuencias de procesamiento, y de la disposición de los estratos en el subsuelo.

También se puede definir como la menor distancia entre dos interfaces litológicas que producen reflexión permitiendo de esta manera su visualización separada. La resolución vertical depende de la longitud de onda dominante, la cual se define como la relación entre la velocidad de la onda y la frecuencia dominante (Zambrano y Martínez, 2004).

La longitud de onda dominante de las ondas sísmicas está dada por la siguiente ecuación

$$\lambda = \frac{V_{int}}{4 * f_{dom}} \quad (\text{ecuación 3.1})$$

Donde: V_{int} = velocidad interválica
 f_{dom} = frecuencia dominante

Generalmente el límite para la resolución vertical es un cuarto de la longitud de onda, pero este límite depende de la relación señal/ruido de los datos sísmicos.

3.2 Sísmica de pozos

Hardage (1983), considera que las primeras experiencias de sísmica de reflexión son el primer documento sísmico referente a fuente y receptores sumergidos en un pozo, aunque la utilización de pozos profundos con propósitos sísmicos estuvo

limitada durante muchos años a la determinación de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas. A partir de los registros sónicos de pozo es posible pasar del dominio de tiempo (t) al dominio del espacio (z). De esta forma la onda directa resulta la única parte analizable de un registro sísmico de pozo, lo cual se conoce como “prueba de velocidad” o tiros de verificación sísmica (check shots) (Schlumberger, 1.986).

La combinación de la herramienta sónica de pozo de origen en 1950 con la prueba de velocidad de 1960 y el desarrollo del análisis y procesamiento de la onda completa registrada por un geófono dentro del pozo, permitieron la evolución de las dos técnicas básicas, sismogramas sintéticos y el perfil sísmico vertical (VSP), conformando así las nuevas técnicas de la sísmica de pozo y derivando información importante del subsuelo. Estas son herramientas para calibrar la sísmica de superficie con mejor detalle, reduciendo la ambigüedad en la interpretación, dando mayor confiabilidad a las secciones y mapas generados. Esta técnica está presente en la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos registrados, colocando los receptores dentro del pozo (Usta, 2002).

3.3 Calibración vertical

La calibración vertical consiste en comprobar la correspondencia entre los reflectores sísmicos a interpretar y la localización del tope respectivo de un horizonte, para esto es necesario elaborar sismogramas sintéticos, los cuales se generan a partir de la convolución de una ondícula teórica, con el producto de los registros de densidad y sónico, editados previamente y corregidos por los tiros de verificación (check-shots) (Parra, 1.999), permitiendo de esta forma el ajuste en tiempo y profundidad para los diferentes reflectores y los respectivos toques de pozos (Zambrano y Martínez, 2004).

3.4 Tiros de verificación

Los tiros de verificación (check-shots) se utilizan en la calibración de la información de pozos para corregir el registro sísmico por deriva, a medida que este profundiza en el subsuelo (Parra, 1.999). Los tiros de verificación son tomados con un equipo que mide el tiempo de tránsito de un pulso de onda sonora generado por una perturbación en la superficie (fuente) y un geófono anclado el receptor a una profundidad determinada en el pozo. Este proceso de lectura se repite para distintas profundidades y con estos datos se construye una tabla de valores de tiempo vs. profundidad, con la que se genera una curva tiempo-profundidad (T-Z) (Zambrano y Martínez, 2004).

3.5 Sismogramas sintéticos

Realizar la calibración sísmica-pozo a través de sismogramas sintéticos permite la integración de datos, ya que es posible para el intérprete la correlación tanto en profundidad como en tiempo, además, extrapolar la información del pozo lateralmente, obteniendo al final una escala continua de referencia tiempo-profundidad en dirección vertical y especialmente en forma lateral. El principio de los sismogramas sintéticos es obtener o simular una traza sísmica a partir de los registros sísmicos y de densidad, extrayendo los coeficientes de reflexión que son convolucionados con una ondícula teórica o una ondícula extraída de la traza sísmica.

La reflexión sísmica se produce por un cambio o contraste entre las propiedades acústicas de las diferentes capas del subsuelo, estos cambios están relacionados con características litológicas medidas; este estudio se basa en función de la diferencia de las velocidades y densidades para cada capa. Los registros de pozos que aportan información directa para el cálculo del coeficiente de reflexión (R),

son el registro sísmico expresado en $\mu\text{seg} / \text{pie}$ (inverso de la velocidad) y el registro de densidad expresado en g/cm^3 (Zambrano y Martínez, 2004).

Debido a las diferencias existentes entre el contenido de frecuencia de la sísmica de superficie y los datos obtenidos del registro sísmico del pozo, que influyen de manera importante en el cálculo del sismograma sintético, es necesario corregir y calibrar la información de registros con la información sísmica de superficie para obtener una correlación sísmica-pozo aceptable.

En la generación de los sismogramas sintéticos uno de los problemas que se presenta es obtener la ondícula más adecuada, para que una vez convolucionada con los coeficientes de reflexión, permita obtener una respuesta similar a los datos sísmicos de cada levantamiento en particular. Existe en los paquetes de procesamiento convencionales la capacidad de generar diversos tipos de ondícula (Ricker, Klauder, Trapezoidal, etc.) aunque se puede extraer la ondícula a partir de los datos sísmicos. En cualquiera de los casos, se toma en cuenta los valores de fase y frecuencia para obtener al final la mejor correlación entre los datos de la sísmica.

3.6 Conversión tiempo-profundidad

Los datos sísmicos se presentan en tiempo, pero tanto el geólogo como el ingeniero de yacimientos, basan sus estudios en dimensiones reales (profundidad), para ello es necesario convertir los mapas de tiempo en mapas en profundidad. Para realizar esta conversión es necesario conocer el campo de velocidades promedio hasta el evento de interés. Existen varios métodos para obtener estas velocidades (Parra, 1.999):

- 1) Los tiros de verificación (check-shots) y los sismogramas sintéticos, los cuales nos proporcionan la relación tiempo-profundidad, de donde podemos obtener las

velocidades promedio hasta la zona de estudio. La información obtenida por este método es puntual, por lo que se pueden generar mapas de velocidades si contamos con una buena distribución areal de pozos.

2) Otro método consiste en calcular velocidades interválicas, a partir de las velocidades de apilamiento y luego convertirlas a velocidades utilizando una relación matemática.

3) El tercer método permite a partir de una buena distribución de registros en pozos del área, crear un cubo de velocidades igual al volumen sísmico interpretado. Luego, de este cubo de velocidades se obtienen los horizontes interpretados en tiempo con su correspondiente en profundidad. Este método se lleva a cabo utilizando los "check shots" y los sismogramas sintéticos disponibles, así como las velocidades de apilamiento, siempre y cuando dichas velocidades muestren la misma tendencia.

3.7 Balanceo de secciones geológicas.

Según Woodward & Boyer (1.985; Tomado de Geos-PDVSA, 2004) una sección geológica balanceada, es solamente una sección geológica típica, rígida y artificial (construida metódicamente). El diseño de una buena sección geológica, requiere de experiencia y varias pruebas. Una sección balanceada no es "verdadera" es simplemente un modelo que satisface de la manera más razonables las restricciones, por consiguiente es más probable que sea correcto. Estas secciones proveen un retrato aproximado de deformación y puede servir para evaluar blancos exploratorios.

3.7.1 Fallas extensionales

Fallas extensionales ocurren en un rango de escalas desde aquellas que controlan la formación de la cuenca hasta aquellas que están bajo los límites de resolución sísmica. Estas fallas frecuentemente controlan la distribución de las rocas fuente y reservorio y definen muchas de las más grandes trampas de hidrocarburos. Por lo tanto la geometría y cinemática de estas estructuras es de gran importancia para los exploradores (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.2 Marco tectónico de sistemas extensionales de falla

Sistemas extensionales de falla se encuentran en una variedad de ambientes tectónicos desde rifts intra-continetales (África), dorsales oceánicas (Atlántico), márgenes pasivas (margen occidental Africana) hasta sistemas progradantes de delta (delta del Níger). Estos sistemas se pueden dividir en dos grupos principales: sistemas de fallas extensionales de corteza que afectan de forma significativa el espesor de la corteza (tanto oceánica como continental) y sistemas extensionales con despegues superficiales como aquellos encontrados en deltas o aun en depósitos superficiales de colapso (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.2.1 Sistemas de fallas extensionales de corteza

- 1) Sistemas de rift intra-continental (dominantemente arreglos planares)
- 2) Márgenes continentales pasivas (dominantemente arreglos planares)
- 3) Dorsales oceánicas planar
- 4) Cuencas de retro-arco planar
- 5) Cuencas de colapso extensional (planar de bajo ángulo y lístricas)
- 6) Cuencas de *Pull-Apart* (dominantemente planar)

3.7.2.2 Sistemas extensionales con despegues superficiales

- 1) Sistemas de delta progradante (arreglos lístricos)
- 2) Márgenes continentales pasivas (dominantemente lístricos)
- 3) Despegues en sal y diapiros (dominantemente lístricos)
- 4) Colapsos submarinos (lístricos)

3.7.3 Clasificación de fallas extensionales

La clasificación de las fallas extensionales es básicamente geométrica y ha sido propuesta por Wernicke & Burchfiel (1982) y Gibbs (1984). Existen dos categorías básicas de fallas extensionales las cuales son: fallas extensionales planares y fallas extensionales lístricas.

Dentro de las fallas extensionales planares ocurren fallas rotacionales y no-rotacionales, aunque estas fallas generan problemas de espacio en los niveles de despegue. En contraste, las fallas lístricas también produce rotación de los estratos, pero producen menos problemas de espacio en el nivel de despegue. En ambas clasificaciones se presume que las fallas se nuclean y propagan en el bloque yacente (*footwall*) de un sistema extensional y por lo tanto fallas jóvenes rotaran fallas más antiguas en el bloque colgante (*hangingwall*), sin embargo Mc Clay & Ellis (1987) han demostrado que el fallamiento en estos sistemas es más complicado con significativa propagación en el bloque colgante sobre el nivel de despegue como lo veremos más adelante (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.4 Clasificación Geométrica en 2D

La clasificación de las fallas en 2D (figura 3.1) sigue la propuesta por Wernicke & Burchfiel (1982) y Gibbs (1984). Y estas fallas pueden estar descritas en términos de los efectos que ellas tienen sobre las capas y sobre otras fallas (Geos-PDVSA, 2004).

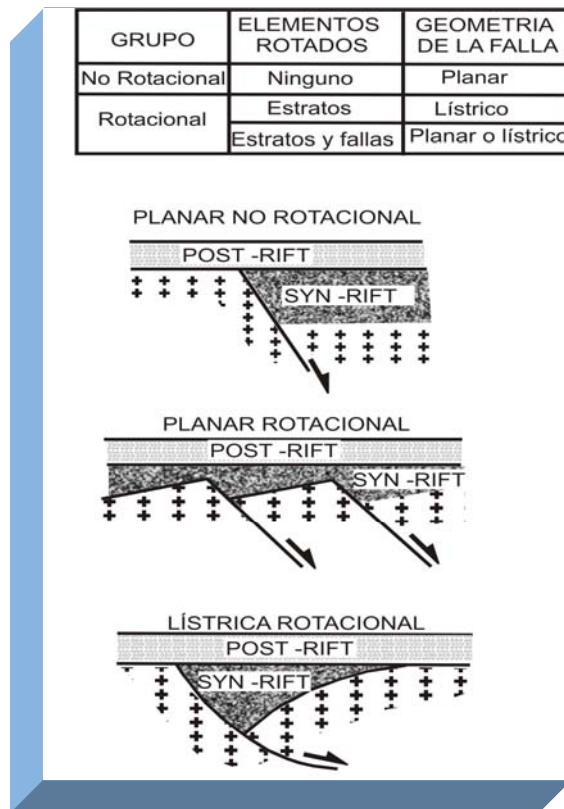


Figura 3.1. Clasificación de fallas extensionales (Geos-PDVSA, 2004).

Las fallas extensionales planares se dividen en dos categorías: fallas planares no rotacionales y fallas planares rotacionales (modelo de domino)

Las fallas extensionales lítricas ocurren como fallas aisladas que se desprenden a lo largo de un nivel de despegue basal u ocurren como un sistema

imbricado. Estos sistemas se caracterizan por un anticlinal (*roll-over*) que acomoda un arco de estiramiento generado por plano de falla curvado. Algunos estudios de campo han demostrado que fallas lítricas y planares ocurren como un sistema con estilo de domino sobre un despegue lítrico.

En la figura 3.2 se muestra la geometría característica del bloque colgante de una falla lítrica simple.

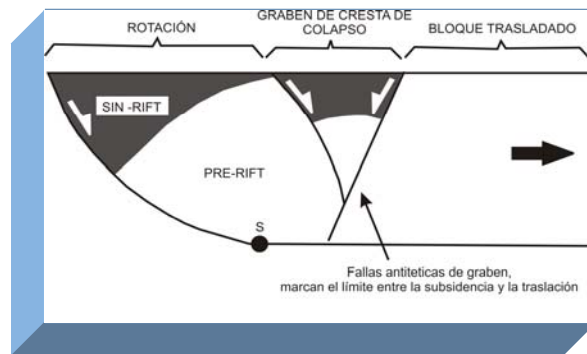


Figura 3.2. Geometría característica del bloque colgante de una falla lítrica simple (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.5 Falla lítrica simple

Un estilo estructural característico y distintivo ocurre sobre este nivel de despegue, los principales rasgos son:

- 1) En todos los modelos lítricos de falla se observa un anticlinal de *roll-over* característico y su asociado graben de cresta de colapso. El grado de complejidad es función de la forma (i.e. curvatura) de la falla lítrica y de la cantidad de extensión.
- 2) Dentro del graben de cresta de colapso la nucleación de las fallas ocurre dentro del bloque colgante de fallas pre-existentes (i.e. dentro del graben).

- 3) Las fallas antitéticas son predominantemente planares, cuando se van formando por primera vez sobre el despegue plano.
- 4) Las fallas sintéticas forman un límite del graben de cresta de colapso y estas fallas son generalmente convexas hacia arriba y pueden llegar a ser planas cuando los valores de extensión son muy altos.
- 5) En altos valores de extensión el graben de cresta de colapso forma un complejo arreglo de fallas interceptadas.
- 6) Las fallas sintéticas forman un arreglo en abanico de fallas lístricas en la secuencia syn-rift como resultado de una rotación sincrónica de los bloques colgantes y yacente a medida que la sedimentación ocurre.

En la figura 3.3 se muestra el modelo sinóptico para una falla lístrica simple

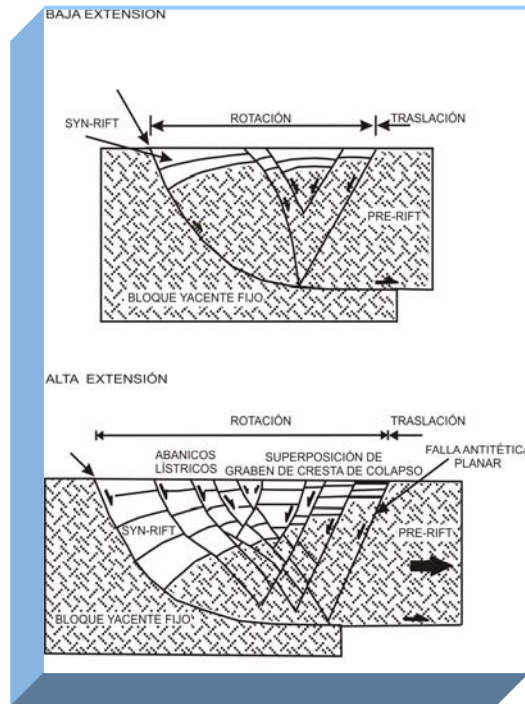


Figura 3.3. Modelo sinóptico para una falla lístrica simple (Geos-PDVSA, 2004).

Para fallas lítricas con un nivel de despegue inclinado se desarrolla una arquitectura estructural similar con un anticlinal *roll-over* y su graben de cresta de colapso asociado. Obsérvese que en estos modelos el bloque colgante se traslada bajo el nivel regional y los sedimentos syn-rift se depositan en la sección no deformada de ese bloque. Nótese también que a valores altos de extensión se desarrolla, adyacente al nivel de despegue, un panel de rocas altamente rotadas pero poco deformadas. Este estilo está caracterizado por abanicos de fallas lítricas sintéticas y en la secuencia syn-rift y unas estructuras complejas en le graben.

En la figura 3.4 se muestra la extensión sobre una falla lítrica simple con un despegue basal basculado

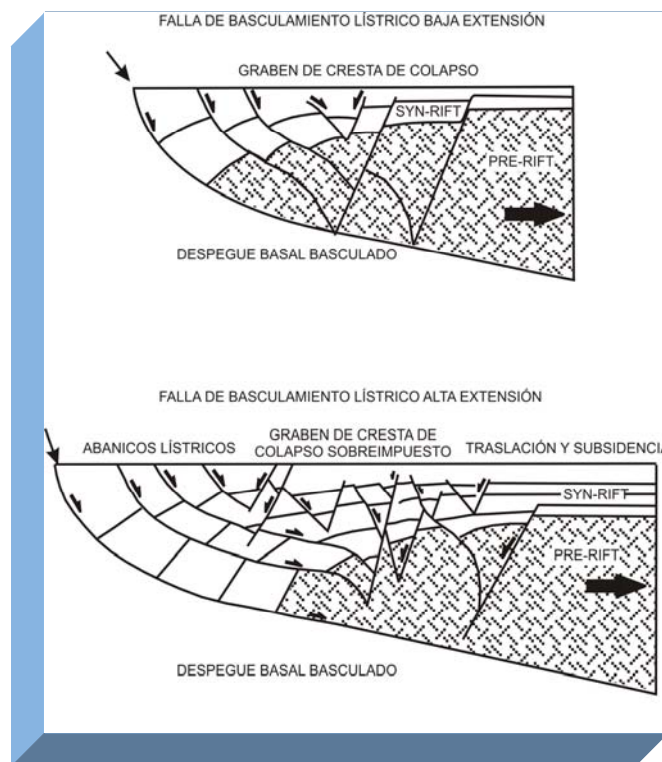


Figura 3.4. Extensión sobre una falla lítrica simple con un despegue basal basculado (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.6 Tectónica de inversión

Es un término utilizado generalmente para un cambio opuesto en el estilo tectónico, de tal forma que la tectónica extensional se pasa a tectónica compresional así que una cuenca cambia a un rasgo estructural positivo. Inversión negativa es reconocida donde cuencas extensionales se forman por reactivación de fallas compresionales producidas por una compresión orogénica (figura 3.5). A partir de marcos tectónicos intracratónicos se han reconocido cuencas invertidas (Australia y Mar del Norte), cuencas de retroarco (Colombia), complejos de prismas acrecionarios de ante-arco (Ecuador), cinturones de antepaís cabalgados y plegados (Canadá) y cuencas de tracción (California). Se ha reconocido una inversión negativa en áreas como las Cuencas Devónicas de Noruega y en el Mar de Alborán (entre España y Marruecos), donde la corteza ensanchada original ha colapsado por efectos gravitacionales para producir cuencas extensionales sobre la base del orógeno.

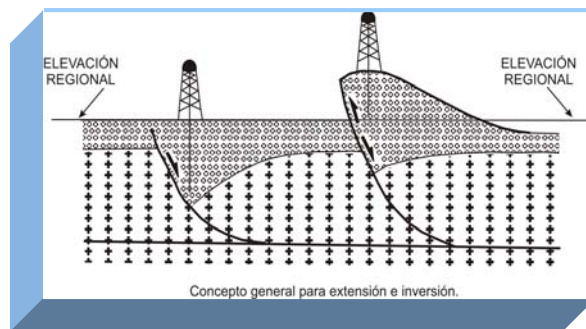


Figura 3.5. Concepto general para la extensión e inversión de fallas lístricas (Geos-PDVSA, 2004).

La tectónica de inversión puede ser importante durante la historia temprana de muchos cinturones orogénicos donde cuencas extensionales (i.e. márgenes pasivas) se incorporan dentro de sistemas plegados y fallados. Donde la inversión ocurre la superposición de estilos estructurales será inevitable y se producirán complicadas geometrías de fallas, morfologías de cuencas y ensamblajes estratigráficos.

3.7.6.1 Estructuras de cabeza de flecha o de arpón

Desarrollo de estructuras de cabeza de flecha o de arpón desarrolladas por semi-grabens con inversión parcial de la falla (figura 3.6).

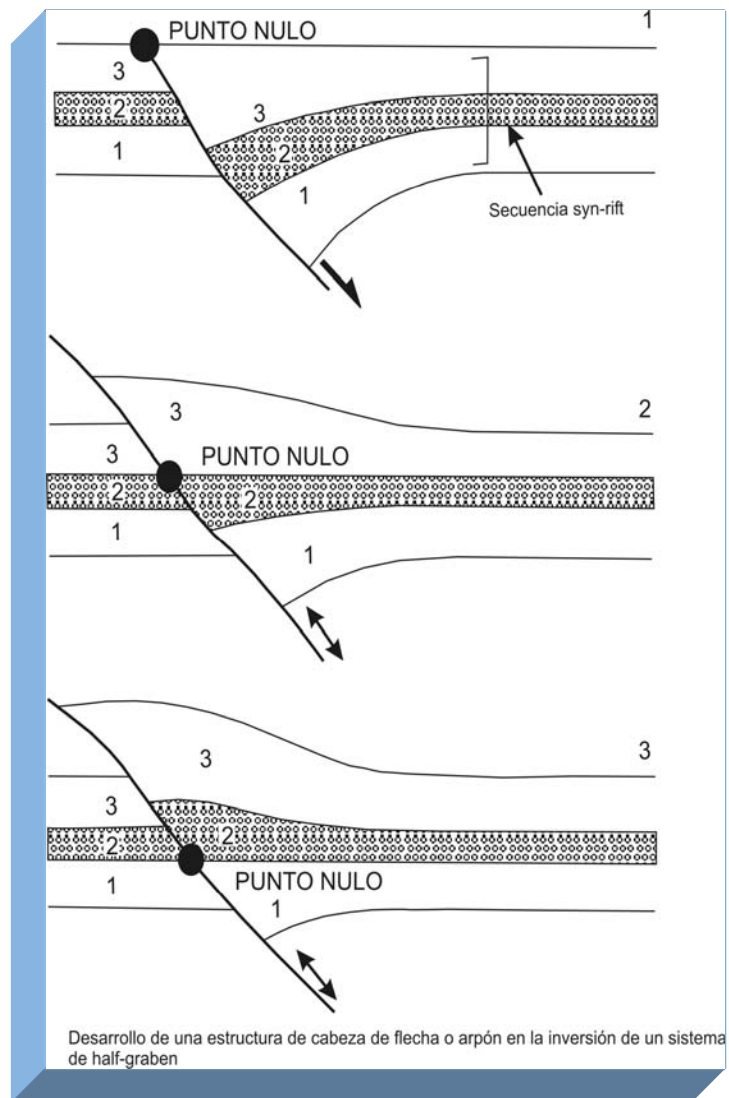


Figura 3.6 Desarrollo de una estructura de cabeza de flecha o de arpón en la inversión de un sistema de semi-graben (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.7 Método para balancear fallas lístricas (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.7.1 Cálculo de despegue para fallas lístricas

En la figura 3.7 se muestra el cálculo de despegue para un falla lístrica

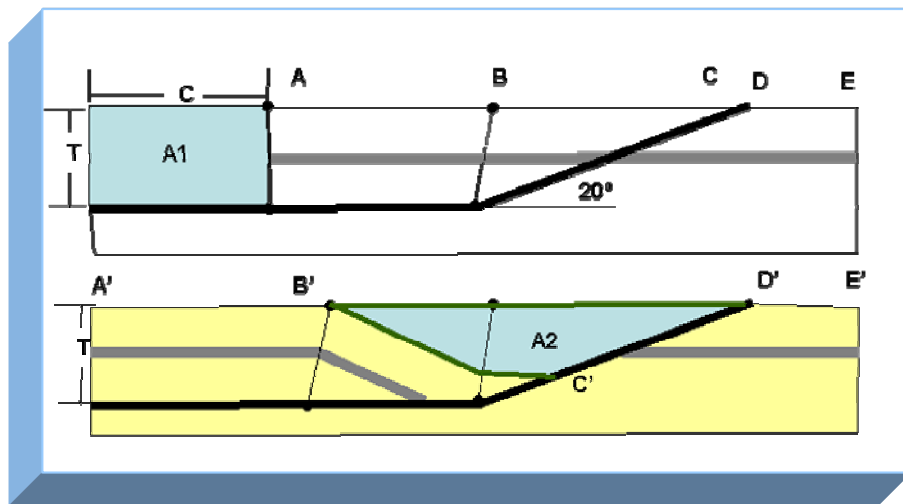


Figura 3.7 Cálculo de despegue para fallas lístricas (Geos-PDVSA, 2004).

Donde:

$$A1=A2$$

$$A1= C*T$$

$$C= \text{longitud entre } A'E' - \text{longitud } AE$$

$$AB = A'B'$$

$$DE=D'E'$$

$$\text{Entonces } C= B'D' - B'C'$$

$$A2 = A1 = T(B'D' - B'C')$$

$$T = \frac{A2}{(B'D' - B'C')}$$

(ecuación 3.2)

3.7.7.2 Construcción chevron para fallas lítricas

1. Defina la forma del bloque colgante y yacente (figura 3.8)



Figura 3.8 Construcción chevron, paso 1 (Geos-PDVSA, 2004).

2. Trace distancias horizontales a igual intervalo (figura 3.9)



Figura 3.9 Construcción chevron , paso 2 (Geos-PDVSA, 2004).

3. Trace vectores entre la superficie y el cruce de las líneas perpendiculares a ella (figura 3.10)

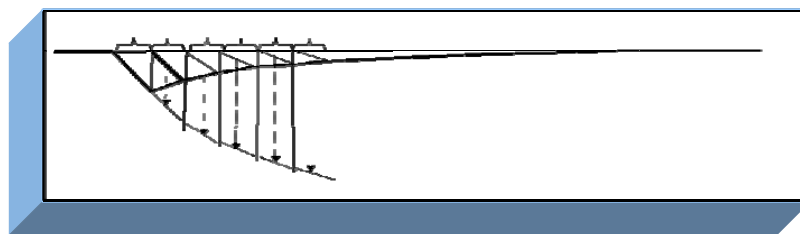


Figura 3.10 Construcción chevron, paso 3 (Geos-PDVSA, 2004).

- Trace paralelas en secuencia de los vectores obtenidos (figura 3.11)

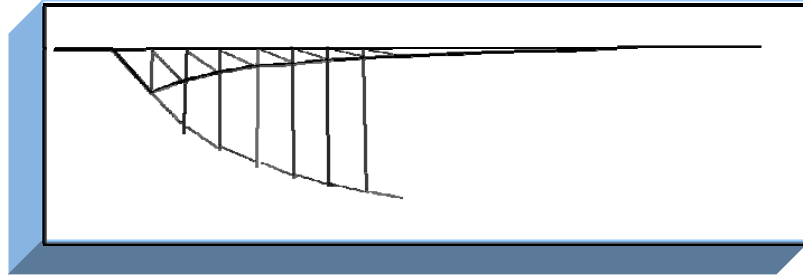


Figura 3.11 Construcción chevron , paso 4 (Geos-PDVSA, 2004).

- Defina la forma del roll over (figura 3.12)

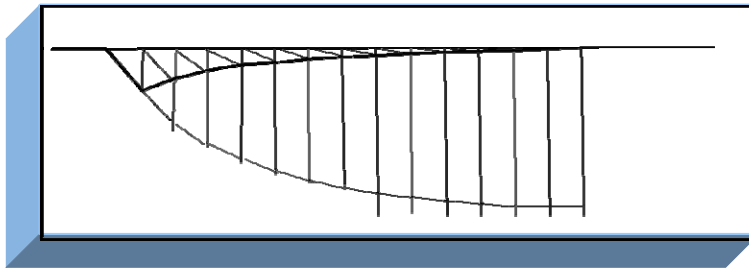


Figura 3.12 Construcción chevron, paso 5 (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.7.3 Construcción por método de cizalla de despegue en falla lístricas.

- Trace 1 paralelo al buzamiento regional al nivel de la capa superior (figura 3.13)

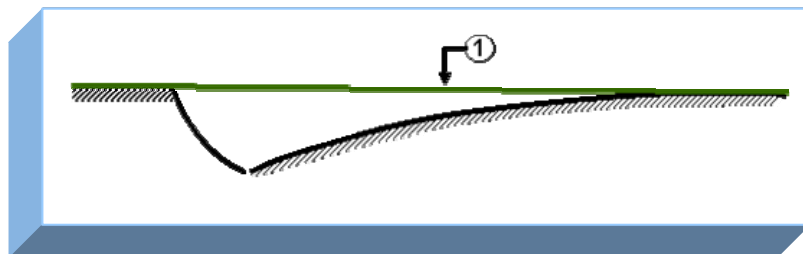


Figura 3.13 Construcción por método de cizalla, paso 1 (Geos-PDVSA, 2004).

- Trace 2 perpendicular a 1 y trace 3, pasando a través de la unión entre la falla y el bloque yacente (figura 3.14)

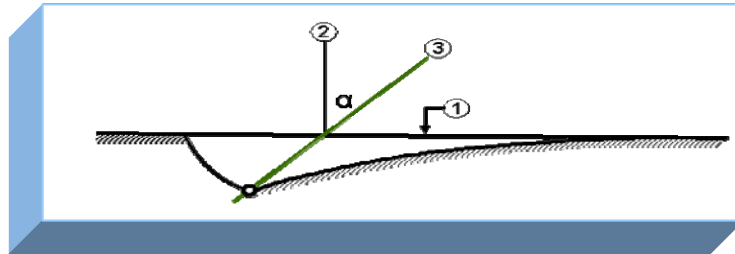


Figura 3.14 Construcción por método de cizalla, paso 2 (Geos-PDVSA, 2004).

- Trace líneas 4 a 4+n paralelas a 3 espaciadas con respecto al espacio inicial h' para estimar la profundidad de la falla (figura 3.15)

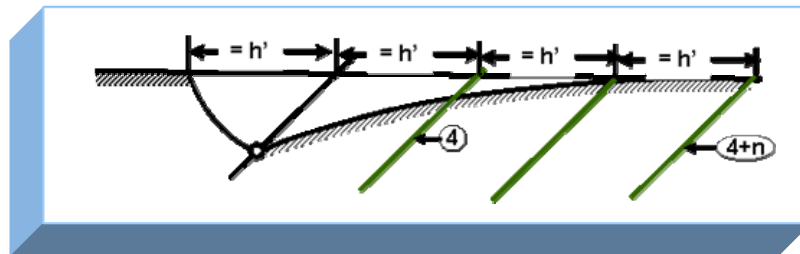


Figura 3.15 Construcción por método de cizalla, paso 3 (Geos-PDVSA, 2004).

- Para cada segmento, mida la longitud de desplazamiento vector 5 y marque (figura 3.16)

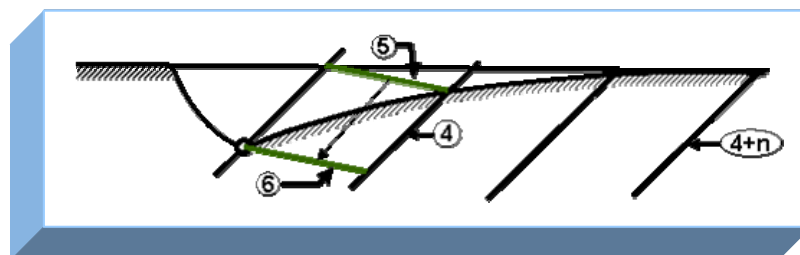


Figura 3.16 Construcción por método de cizalla, paso 4 (Geos-PDVSA, 2004).

3.7.8 Construcción de una sección balanceada

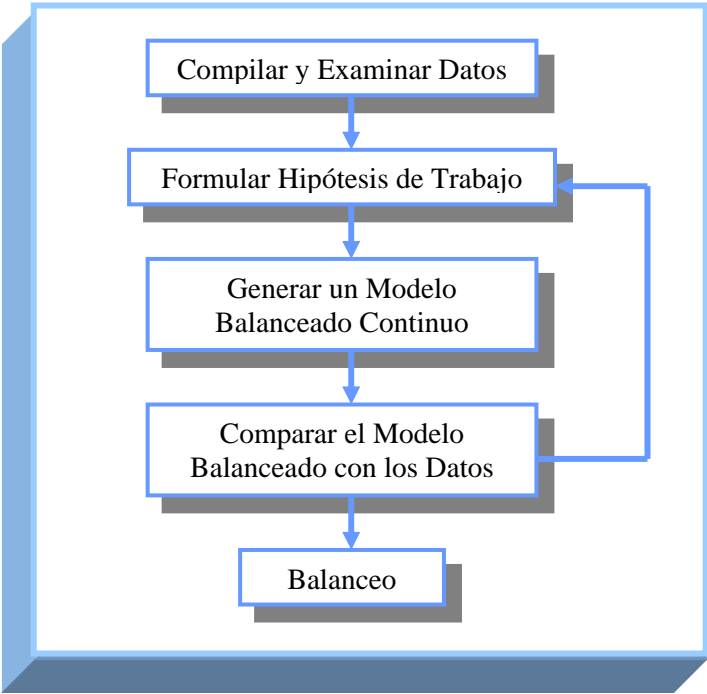


Figura 3.17 Diagrama de Flujo para la construcción de una Sección Balanceada (Geos-PDVSA, 2004).

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

La interpretación sísmica se realizó usando la Plataforma Landmark y otros programas que se muestran en el siguiente flujograma:

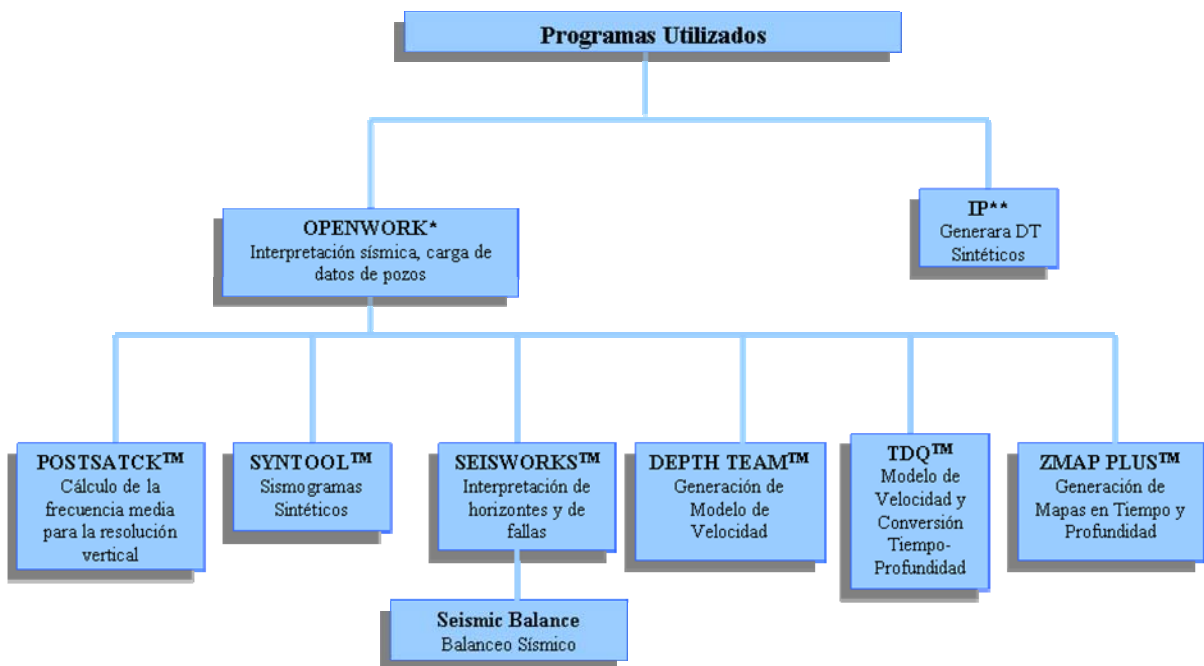


Figura 4.1. Flujograma de las aplicaciones de LandMark y de programas utilizados en el desarrollo del trabajo.

* Plataforma LandMark, ambiente Unix

** Plataforma Schulmberger, ambiente Windows.

OpenWork es una herramienta especializada en la plataforma UNIX SOLARIS 2.5X, la cual posee diferentes aplicaciones. En el flujograma de la figura 4.1 se muestran las aplicaciones utilizadas en este Trabajo Especial de Grado.

Seisworks se utilizó para realizar interpretación sísmica de los horizontes de interés y las fallas.

PostStack se utilizó para el cálculo de la frecuencia dominante para posteriormente calcular la resolución vertical

Syntool se utilizó para el cálculo de la resolución sísmica vertical y para generar los sismogramas sintéticos para la calibración sísmica/pozo

Depth Team se utilizó para la elaboración del modelo de velocidad.

TDQ se utilizó para la realización del modelo de velocidad y para la conversión tiempo-profundidad de los horizontes y fallas interpretados.

Z-Map Plus se utilizó para contornear y editar mapas estructurales isopácos, de velocidad, en tiempo y en profundidad, donde se genera un mallado apropiado para cartografiar los horizontes interpretados.

Otros programas utilizados fueron Word, Excel, Power Point, entre otros.

La metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos se muestra en el siguiente esquema:

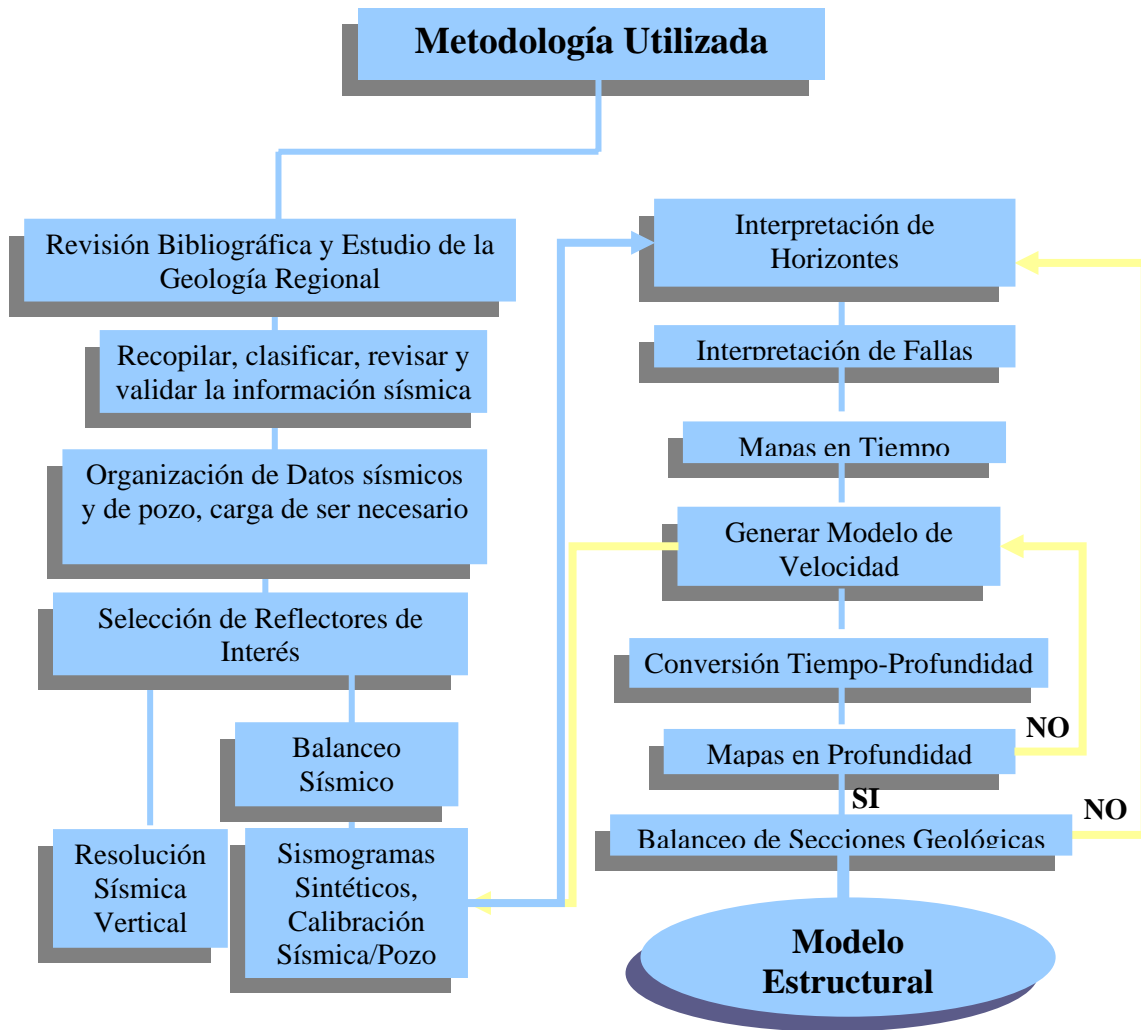


Figura 4.2. Esquema de la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos.

4.1. Organización de datos:

- a) Elaboración de listados de pozos para obtener información de su ubicación, profundidad y registros.

- b) Selección de pozos y carga en el proyecto (plataforma LandMark) de los registros (gamma ray, densidad, sónico, resistividad y check shot), datos básicos, topes oficiales, entre otros en el área de estudio.

4.2. Selección de los reflectores de interés.

Para la selección de los reflectores a interpretar se tomó como referencia las Discordancias del Eoceno y del Paleoceno como marcadores regionales, tope y base del área de estudio respectivamente. De igual forma se interpretaron tres reflectores intermedios los cuales son: Fm. Misoa del Miembro B-8 (edad Eoceno), dado que es el reflector infrayacente a la Discordancia del Eoceno con continuidad en todo el área, del Miembro C-2 (Fm. Misoa, edad Eoceno) y un horizonte sísmico (intra Fm Misoa Miembro C-2 y Discordancia Paleoceno), por presentar una reflexión sísmica de importante amplitud y de fácil continuidad en la sísmica.

4.3. Balanceo sísmico

Dado que la sísmica a interpretar es un 2D y que las líneas pertenecían a dos levantamientos sísmicos diferentes (figura 4.3), fue necesario un balanceo sísmico el cual consiste en llevar todas las líneas al mismo nivel de referencia (“datum”). Esto se realiza tomando como referencia inicial los marcadores regionales (las discordancias), se escoge una línea como base y al resto se les realiza un desplazamiento en tiempo (“shifts”) para ajustarlas. Este procedimiento se puede

hacer automáticamente mediante el Seismic Balance (modulo de Seisworks) o individualmente generando un desplazamiento manual a cada línea.

En este trabajo se utilizaron los dos métodos, primero el método automático tomando como referencia el levantamiento sísmico principal (el cual consta de 21 líneas sísmicas de las 23 seleccionadas para interpretar y posee una mejor relación señal/ruido) y luego se ajustó manualmente cada sísmica.

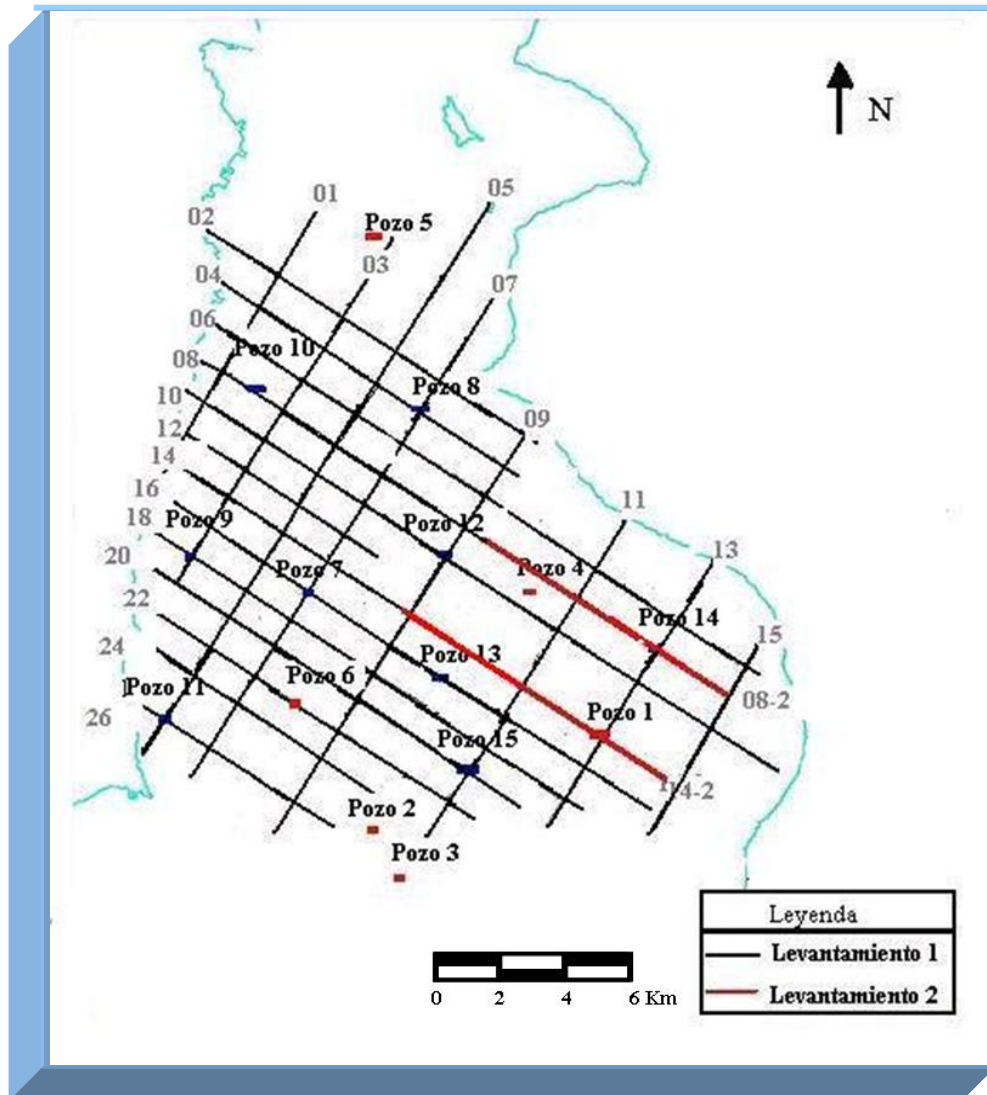


Figura 4.3. Distribución de las líneas por levantamiento.

Cabe destacar que por ser procesamientos distintos en cada campaña de adquisición en muchos de los casos ambas discordancias no se pudieron ajustar debido a las velocidades de apilamiento empleadas en los respectivos procesamientos, por lo tanto se ajusto la Discordancia del Eoceno dado que es el objetivo de estudio.

4.4. Sismogramas sintéticos

Debido a la escasez de pozos en el área de estudio (6 en total) la cual posee una extensión de 378 km², se generaron 9 pozos ficticios distribuidos en la zona de tal forma de realizar un mallado uniforme en el área de estudio, para garantizar mayor densidad de pozos a la hora de elaborar el modelo de velocidad (figura 4.4).

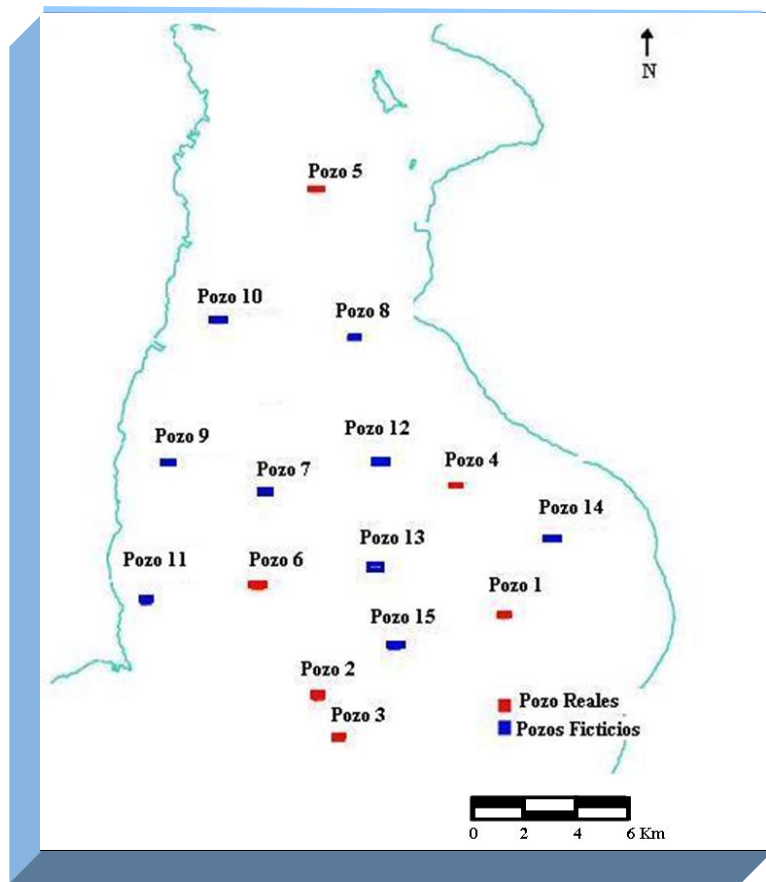


Figura 4.4. Mapa de la zona de estudio con la distribución de los pozos reales y ficticios

En el caso de los pozos reales solo existen dos que poseen los registros de densidad y sónico (pozo 1 y 2), por lo que para realizar el sismograma sintético de tres de los pozos restantes fue necesario la elaboración de un registro sónico sintético a partir de un registro de resistividad utilizando la ecuación de Faust (pozos 4, 5 y 6) y en el caso del último pozo real (pozo 3), dado que no se proyectaba sobre ninguna línea sísmica impidiendo la elaboración del sismograma sintético, se utilizó la curva T-Z del pozo que se encuentra cargada en el proyecto de pozo.

Por lo tanto para la elaboración de los sismogramas se realizaron tres metodologías distintas las cuales se explican a continuación. En la Tabla 4.1 se muestra los registros utilizados para la elaboración de los sismogramas sintéticos de cada uno de los pozos especificado.

Tabla 4.1 Registros utilizados para la realización de los simogramas sintéticos.

Pozo		Registros	
Nombre	Origen	Sónico	Densidad
Pozo 1	Real	DT del Pozo	RHOB del Pozo
Pozo 2	Real	DT del Pozo	RHOB del Pozo
Pozo 3	Real	T-Z del pozo	
Pozo 4	Real	DT Sintético de un registro RD	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 5	Real	DT Sintético de un registro RD	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 6	Real	DT Sintético de un registro ILD	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 7	Ficticio	DT Sintético del pozo 6	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 8	Ficticio	DT Sintético del pozo 5	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 9	Ficticio	DT Sintético del pozo 6	RHOB Ctte. de 2,35g/cm ³
Pozo 10	Ficticio	DT Sintético del pozo 5	RHOB Ctte. de 2,35g/cm ³

Pozo		Registros	
Nombre	Origen	Sónico	Densidad
Pozo 11	Ficticio	DT Sintético del pozo 6	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 12	Ficticio	DT Sintético del pozo 6	RHOB Ctte de 2,35g/cm ³
Pozo 13	Ficticio	DT Sintético del pozo 1	RHOB del pozo 1
Pozo 14	Ficticio	DT Sintético del pozo 1	RHOB del pozo 1
Pozo 15	Ficticio	T-Z del pozo 3	

Nemonicos:

DT: Registro Sónico

RHOB: Registro de Densidad

RD: Resistividad Profundidad

ILD: Resistividad Lateral Profunda.

4.4.1. Sismogramas sintéticos de pozos reales con registro sísmico.

En el caso de los pozos 1 y 2 se generó el sismograma sintético mediante la convolución de una ondícula teórica (la cual se comparó con la ondícula extraída de la sísmica logrando la mayor similitud y eliminado las altas frecuencias), con el producto de los registros sísmico y densidad.

En la siguiente figura 4.5 se muestra la comparación entre la ondícula teórica utilizada para la elaboración del sismograma sintético con lo ondícula extraída de la sísmica del pozo 2 como ejemplo.

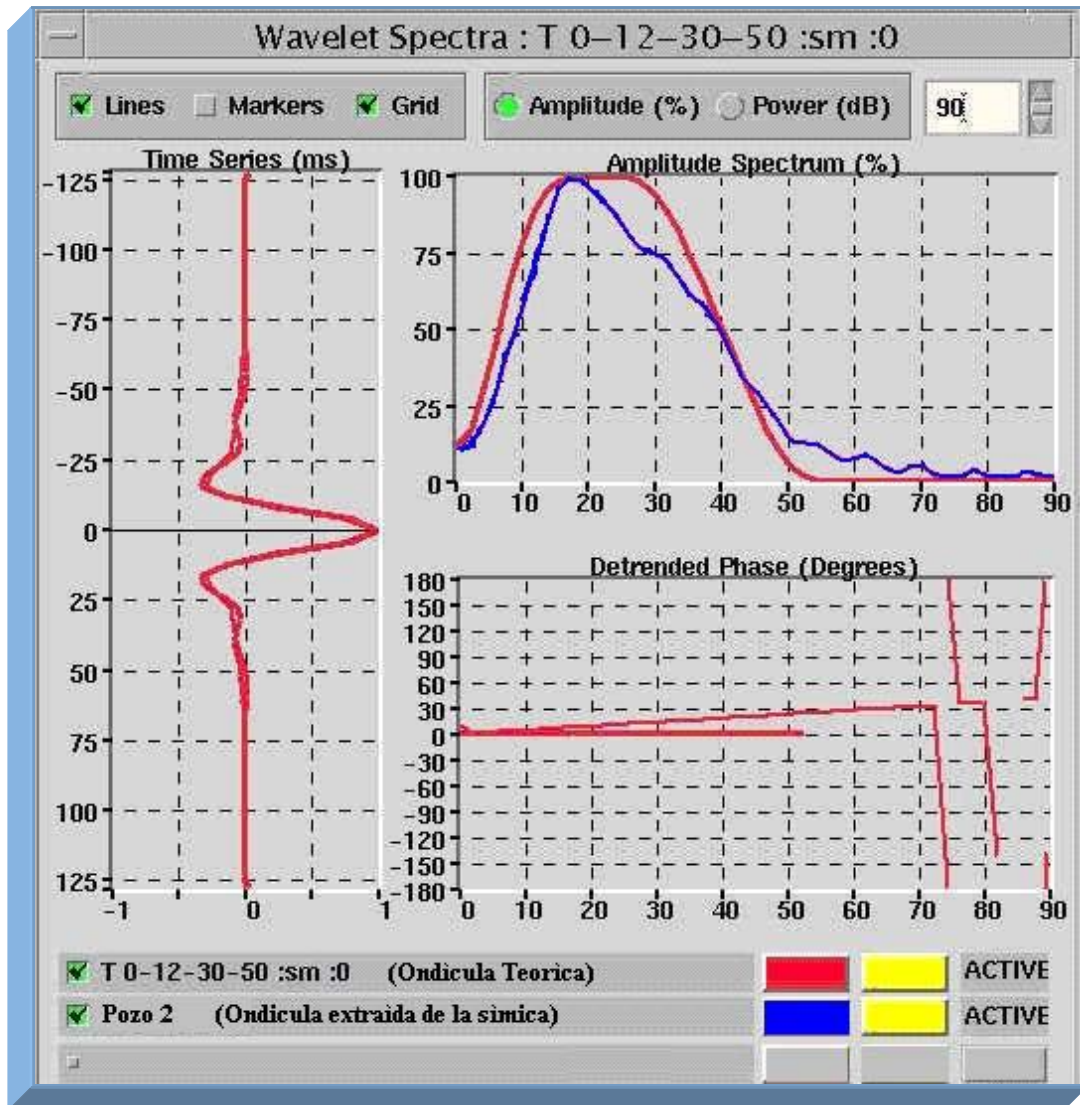


Figura 4.5. Ondícula teórica vs. ondícula extraída de la sísmica del pozo 2

A continuación en la figura 4.6 se muestra un ejemplo del sismograma sintético del pozo 1 generado en la aplicación Syntool.

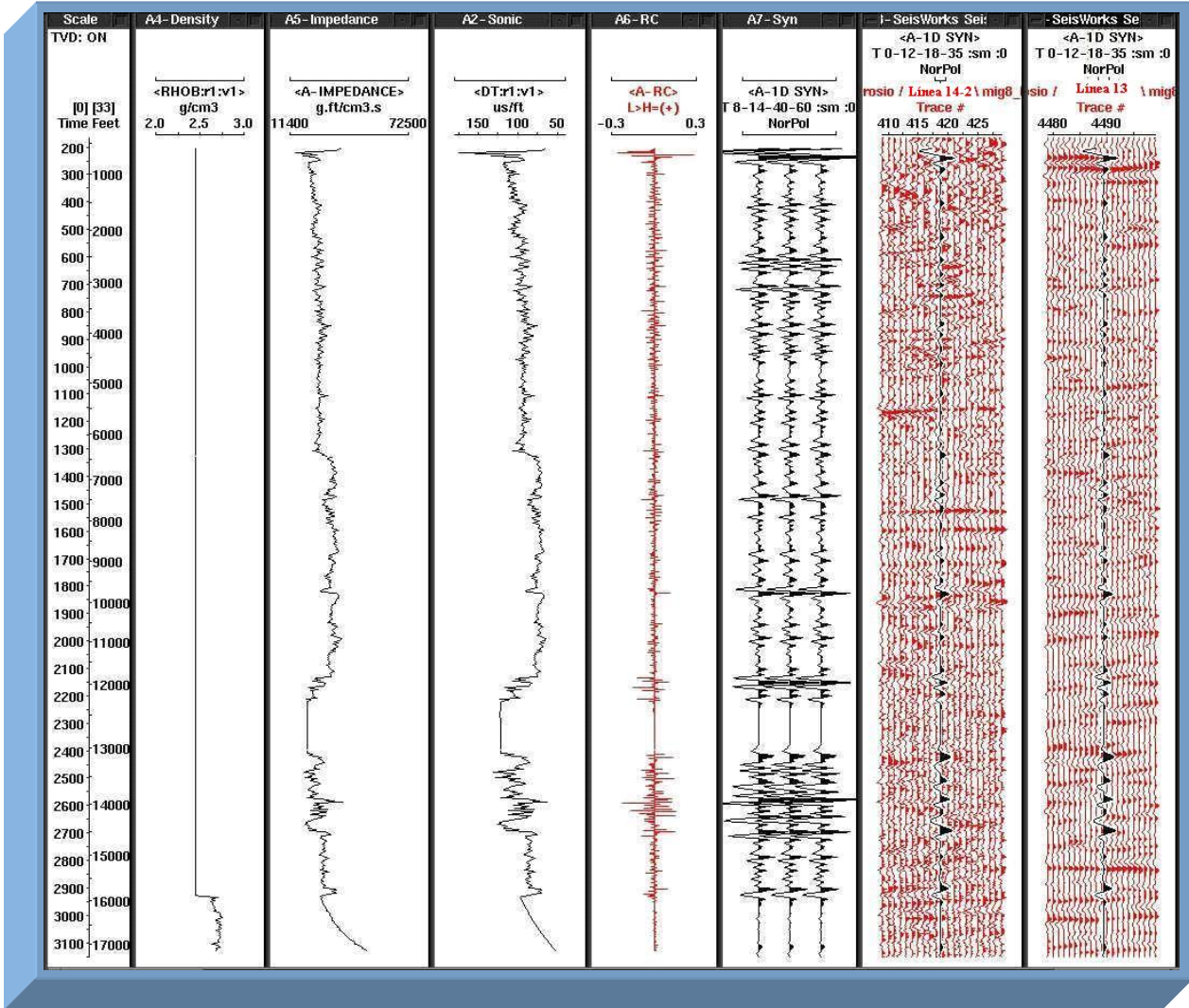


Figura 4.6. Ejemplo del sismograma sintético del pozo 1, calculado con la aplicación Syntool.

4.4.2. Sismograma sintético de pozos reales sin registro sísmico

En el caso de los pozos 4, 5 y 6 por falta de registro sísmico se generó un DT sintético a partir de un registro de resistividad del pozo por medio de la ecuación de Faust:

$$Dt_{\text{Sintético}} = A * (RES D)^{\left(\frac{-1}{B}\right)} \quad (\text{ecuación 4.1})$$

Donde.

RES D, es el registro eléctrico

A y B, son constantes que varían dependiendo de la formaciones.

A continuación en la tabla 4.2 se muestran los valores de las constantes A y B para las distintas formaciones. Estos fueron determinados generando un DT sintético en un pozo que posee registro sísmico, se compararon ambos DT para cada formación tomando las constantes que generaban el DT sintético que correlacionara más con el sísmico real.

Tabla 4.2. Constantes A y B para la elaboración de los DT sintéticos.

Formaciones	Constante A	Constante B
B-Inferiores y C-Superiores	150	3
C-Inferiores/Fm. Marcelina/Fm Guasare	95	10
Grupo Cogollo	85	16

Después de generar el DT sintético se procedió a generar el sismograma sintético con la metodología mencionada para los pozos con registro DT, tomando en cuenta que estos pozos no poseen registro de densidad, por lo tanto se utilizó una densidad constante de 2.35 g/cm³, dado que se está trabajando en un intervalo de arenas.

Posteriormente a la elaboración de los sismogramas sintéticos se agregan a los mismos los topes geológicos de los pozos para así determinar que reflector sísmico corresponde a cada tope por interpretar y determinar la polaridad de los reflectores a interpretar (calibración sísmica-pozo).

4.4.3. Sismogramas sintéticos para pozos ficticios.

Debido que la zona de estudio es de aproximadamente 378 km², y que solo existen 6 pozos reales los cuales se encuentran principalmente en la parte este de la zona, se generaron 9 pozos ficticios (desde el pozo 7 hasta el 15) distribuidos uniformemente en toda la zona (figura 4.4).

Se colocaron los pozos ficticios preferiblemente en el cruce de dos líneas sísmicas (ya que la sísmica es un 2D) para comparar las dos ondículas reales (extraídas de cada una de las líneas de corte) y así determinar la ondícula teórica que correlacionara más con las ondículas reales (figura 4.7), esto se realiza para el caso donde los pozos ficticios se encuentran cercanos a varios pozos reales (en la zona sureste del área de estudio).

En el caso de los pozos ficticios ubicados en la parte suroeste del área de estudio ya que se encuentran cercanos a un solo pozo real, se tomó en cuenta la ondícula extraída de la sísmica para la elaboración del sismograma sintético. Los registros sísmicos y de densidad utilizados para los sismogramas sintéticos de los pozos ficticios, fueron asignados de los pozos reales más cercanos tomando en cuenta la ubicación respecto a la falla principal.

Los criterios empleados para la generación de los sismogramas sintéticos de los pozos ficticios, después de ser asignados los registros a cada pozo fue similar a la utilizada para los pozos reales con registros sísmicos (parte 4.4.1 de la metodología).

Para determinar la profundidad máxima de los pozos reales se tomó como referencia la mayor profundidad de los registros que se les asignaban.

A continuación, en la figura 4.7 se muestra un ejemplo de la comparación de la ondícula teórica para un mismo pozo que se encuentra en el cruce de dos líneas sísmicas.

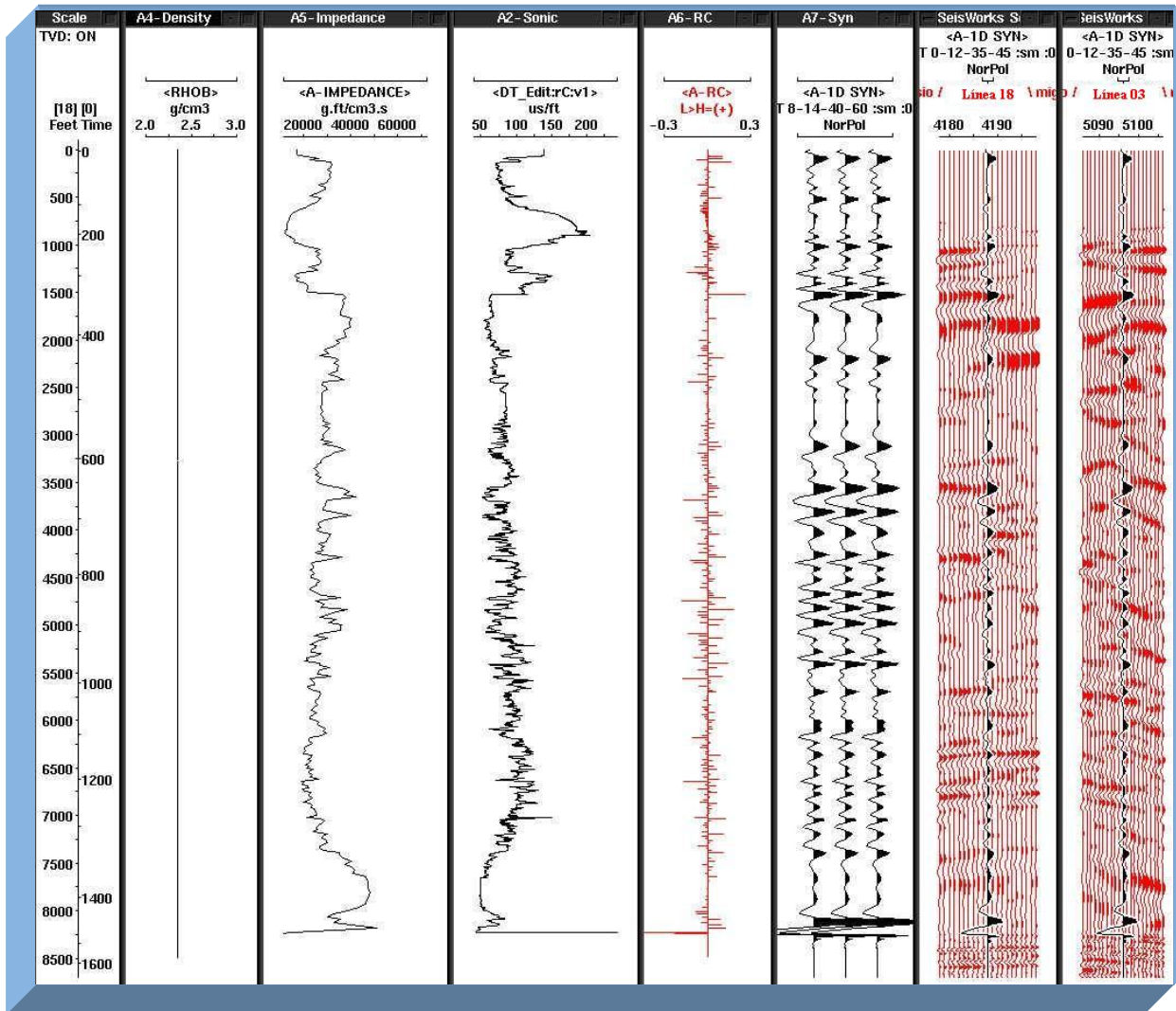


Figura 4.7. Sismograma sintético del pozo 9, donde se observa el ajuste del sintético para las dos líneas sísmicas.

4.5. Resolución sísmica vertical

Para el cálculo de la resolución sísmica vertical se calcularon en Seisworks los tiempos y profundidades tanto inicial como final de cada horizonte, a partir de la curva de velocidad de un pozo, para determinar la velocidad interválica de cada estrato (Discordancia del Eoceno-Miembro B8, Fm. Misoa Miembro B8-Fm. Misoa Miembro C2, Fm. Misoa Miembro C2-Horizonte sísmico, Horizonte sísmico-Discordancia del Paleoceno) y así como de todo el intervalo interpretado (0-3000mseg). Esto se realizó para las líneas 4, 14-2, 16, 26 (figura 4.8), utilizando los pozos 8, 1, 7 y 11 respectivamente (anexo A).

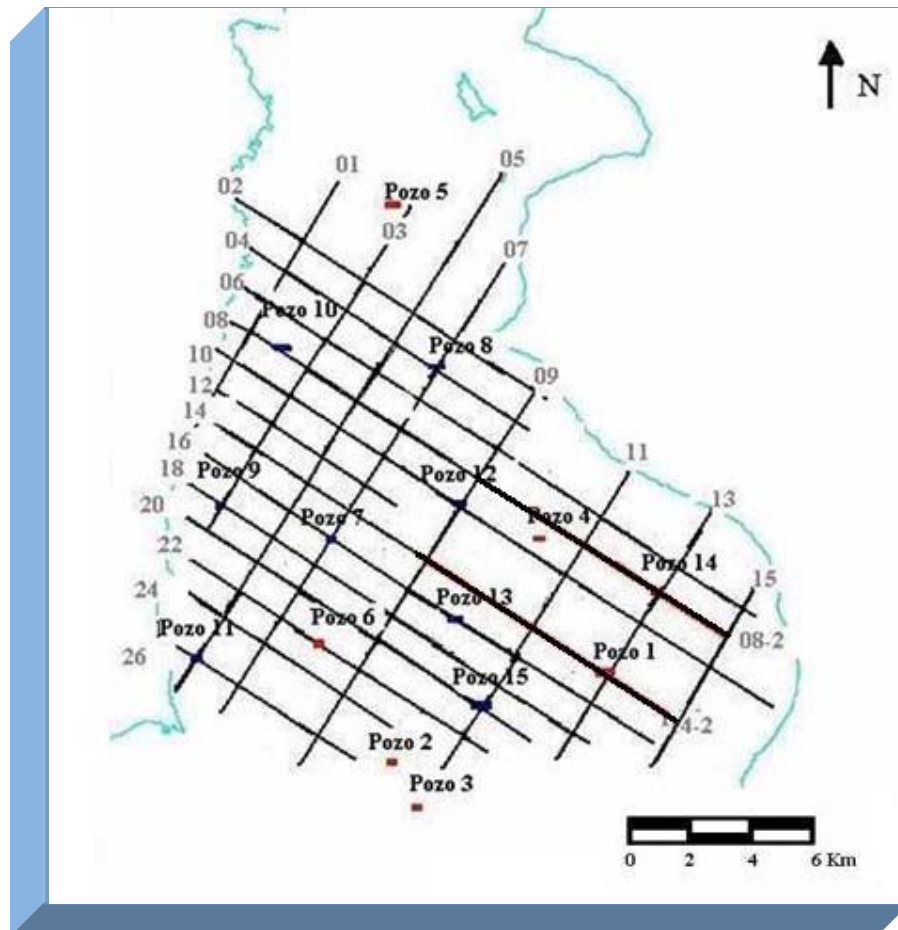


Figura 4.8. Ubicación de las líneas sísmicas interpretadas.

Con el uso de la herramienta PostSateck se calculó la frecuencia para las líneas sísmicas en cada uno de los intervalos, tomando como límite inicial el menor tiempo del tope y como límite final el mayor tiempo de la base (anexo A).

En la tabla 4.3 se muestra un ejemplo de la toma de los tiempos iniciales y finales de cada capa para el cálculo de la frecuencia dominante, para una línea específica.

Tabla 4.3. Tiempos inicial y final para el cálculo de la frecuencia dominante del intervalo Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B8, para la línea 16.

Horizonte Interpretado	Tiempo Inicial	Tiempo Final	Tiempo inicial para el cálculo de la frecuencia	Tiempo final para el cálculo de la frecuencia
Discordancia del Eoceno	229	493	229	
Fm. Misoa Miembro B8	539	925		925

En el cálculo de las velocidades interválicas se utilizó los tiempos y profundidad iniciales y finales tanto del tope como de la base del intervalo. En la tabla 4.4 se muestra un ejemplo del cálculo de la velocidad interválica para el intervalo Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B8 para la línea 16, a través de la siguiente fórmula

$$V_{\text{interválica}} = \frac{(Z_2 - Z_1)}{T_2 - T_1} * 2000 \quad (\text{ecuación 4.2})$$

donde:

Z_2 : mayor profundidad de la base

Z_1 : menor profundidad del tope.

T_2 : mayor tiempo de la base.

T_1 : menor tiempo del tope.

Tabla 4.4. Tiempos y profundidades iniciales y finales tanto de la Discordancia del Eoceno como de la Fm. Misoa Miembro B8 para el cálculo de la velocidad interválica.

Horizonte Interpretado	Tiempo Inicial (ms)	Tiempo Final (ms)	Profundidad Inicial (pies)	Profundidad Final (pies)	Velocidad Interválica (pies/s)
Discordancia del Eoceno	229	493	610	1630	10767.24
Fm. Misoa Miembro B8	539	925	2043	4357	

Para el cálculo de la resolución vertical se utilizó la ecuación 3.1. Como ejemplo para el intervalo Discordancia del Eoceno-Fm Misoa Miembro B8 de la línea 16, donde la frecuencia del intervalo es de 40Hz, la velocidad interválica es 10767.24 pies/s, se tiene que:

$$\text{Resolución Vertical} = \frac{10767,24\text{pies/seg}}{4 * 40\text{Hz}} = 67,29\text{pies}$$

4.6. Interpretación de horizontes

En la interpretación de los horizontes se escogieron dos levantamientos presentes en la zona, ambos poseen una orientación en las líneas sísmicas noreste-suroeste y noroeste-sureste, para un total de 23 líneas sísmicas (anexo B). En la figura 4.8 se muestra la orientación y ubicación de las líneas sísmicas de cada levantamiento.

La interpretación de horizontes se realizó con el programa Seisworks 2D. Debido a que la resolución de la sísmica y la continuidad de los reflectores no es

constante se realizó la interpretación manual manteniendo la polaridad de la amplitud que se le asignó al horizonte. En las zonas donde los reflectores presentan continuidad sin tanta distorsión se utilizó la opción de “autotraking” la cual considera la polaridad del reflector. En la tabla 4.5 se muestra la polaridad de las amplitudes asignadas para cada horizonte interpretado, y sus valores máximos y mínimos en tiempo

Tabla 4.5. Horizontes interpretados y la polaridad de sus amplitudes

Horizonte	Amplitud	Tiempo Mínimo (ms)	Tiempo Máximo (ms)
Discordancia del Eoceno	Mínimo	75	687
Fm. Misoa (Miembro B-8)	Mínimo	200	1400
Fm. Misoa (Miembro C-2)	Mínimo	590	1764
Horizonte sísmico	Máximo	1265	2287
Discordancia del Paleoceno	Mínimo	2067	2756

Después de concluir la interpretación de horizontes en todo el área de estudio por medio de las curvas de velocidad de cada uno de los pozos ficticios se le asignaron los topes de cada uno de los horizontes interpretados a todos los pozos ficticios.

4.7. Interpretación de fallas

Para la interpretación de fallas se toma en cuenta la distorsión y discontinuidad de los reflectores, la cual debe tener sentido geológico. Pero se debe tener presente que no toda distorsión en la sísmica puede ser una falla por lo que se debe observar su continuidad en secciones sísmicas paralelas a la que se está observando y tomando en cuenta la geología de la zona de estudio.

Luego de tener interpretadas todas las fallas en cada sección sísmica se procedió a calcular los saltos de fallas (“heaves”) para cada horizonte. Después de tener calculados los saltos de fallas para cada horizonte se procede a generar los polígonos de fallas correspondientes a los horizontes.

4.8. Mapas en Tiempo

Se utilizó para la elaboración de los mapas en tiempo la aplicación Z-Map Plus la cual realiza una interpolación de los horizontes interpretados a través del método de interpolación de mínimos cuadrados. Estos son exportados a la aplicación en forma de puntos, de igual forma se extraen los polígonos de fallas generados para cada uno de los horizontes. Para la interpolación se crearon varias redes (200*200, 400*400, 500*500) para determinar cual realizaba una mejor interpolación respetando la interpretación y que no generara cierres inexistentes. Se escogió la red de 200*200 para la interpolación de cada uno de los horizontes y se contornean cada uno ellos tomando en cuenta su polígono de falla correspondiente. Dado que el mallado que se construye es un rectángulo, se interpolan los horizontes por toda esta cuadrícula. Después se realizó un blanqueado del mapa tomando como polígono la costa del Lago de Maracaibo, eliminado así toda la información extrapolada fuera del mallado sísmico (anexo E).

4.9. Conversión tiempo – profundidad

Para la elaboración de la función de conversión tiempo-profundidad primero se elaboró el modelo de velocidad a través de la aplicación Depth Team, tomando en cuenta las curvas de velocidad (anexo D) de los pozos reales y pozos ficticios. De igual forma para darle un sentido geológico al modelo se tomaron en cuenta 5 superficies en tiempo (horizontes interpretados). El modelo se elaboró desde 0 ms

hasta 3500 ms, ya que hasta ese tiempo se tiene control de pozo, solo tres pozos reales llegan hasta el horizonte base. Después de la elaboración del modelo de velocidad se utilizó la aplicación TDQ para la conversión de los horizontes.

Se genera paralelamente el modelo de velocidad a través de la aplicación TDQ, la cual utiliza solamente las curvas de velocidad de cada uno de los pozos, para posteriormente realizar la conversión de los horizontes interpretados utilizando este modelo a partir de la misma aplicación.

Se compararon las tendencias de los horizontes en profundidad obtenidos con ambos modelos, contra la tendencia de los mapas en tiempo, observando que los horizontes derivados por medio del modelo obtenido por Depth Team presentaban mejor concordancia por lo tanto se tomo este modelo de velocidad para la conversión de los horizontes, fallas y secciones sísmicas.

4.10. Mapas en profundidad

Luego de transformar los horizontes a profundidad estos son llevados a Z-Map Plus en forma de puntos, igual que los horizontes en tiempo y para la elaboración de los mapas en profundidad se utilizó la misma metodología que para los mapas en tiempo en los primeros tres horizontes: Discordancia del Eoceno, Fm Misoa Miembro B8 y Miembro C2 (anexo G).

Dado que para el horizonte sísmico y para la Discordancia del Paleoceno no existe un buen amarre en el modelo de velocidades debido a que solo cuatro pozos reales llegan hasta esta profundidad y están ubicados uno al norte del área de estudio y los otros tres en el sureste de la misma, ocasionando que en la parte suroeste no exista un buen control de velocidades como de profundidades.

Esto se evidencia por la diferencia en las tendencias del mapa en profundidad contra el mapa en tiempo, en la figura 4.9 se muestra la comparación entre la tendencia del mapa en tiempo y del mapa en profundidad de la Discordancia del Paleoceno.

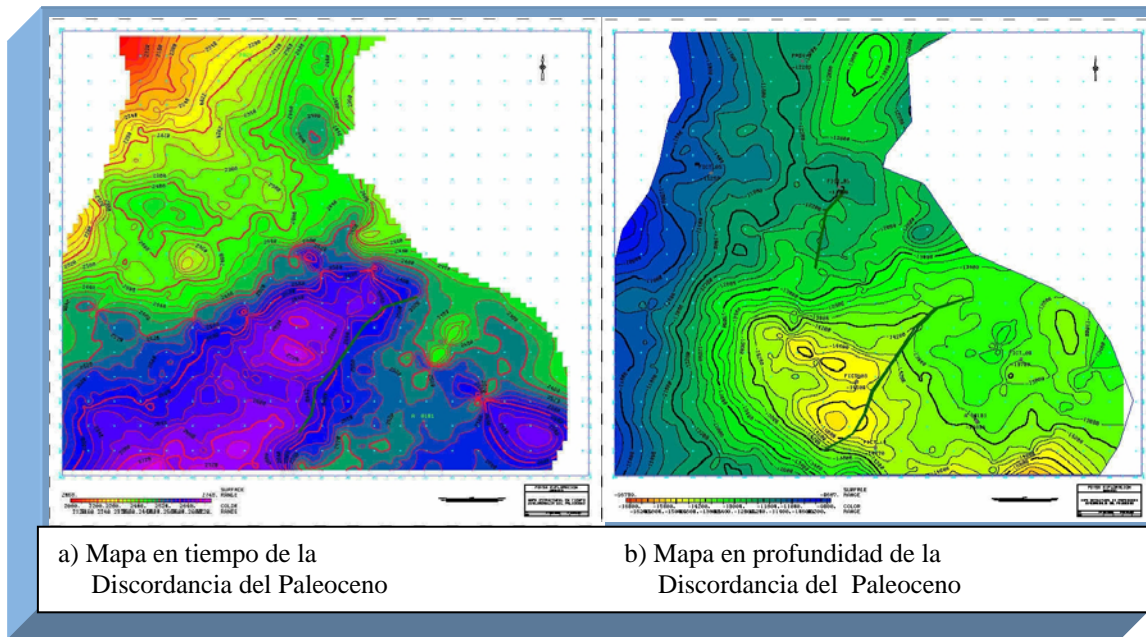


Figura 4.9. Comparación de la tendencia del mapa en tiempo vs. el mapa en profundidad de la Discordancia del Paleoceno

Por lo tanto para la elaboración de los mapas en profundidad del Horizonte Sísmico y de la Discordancia del Paleoceno se generó un mapa de velocidad (anexo F) en Z-Map Plus a través del mapa en tiempo y del mapa en profundidad utilizando la fórmula $\text{velocidad} = \text{profundidad} / \text{tiempo}$, a este mapa se editaron las velocidades en los pozos ficticios que presentaban problemas y distorsión en la profundidad, comparando sus velocidades con los pozos cercanos para los mismos tiempos.

De tal forma que el mapa en profundidad presentara una tendencia similar a la tendencia de los mapas en tiempo, luego se creó una nueva red de profundidad a

través del mapa en tiempo y del nuevo mapa de velocidad (profundidad=velocidad*tiempo), obteniendo de esta forma el mapa en profundidad. En la figura 4.10 se muestra la comparación del mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno inicial vs. el mapa de velocidad editado.

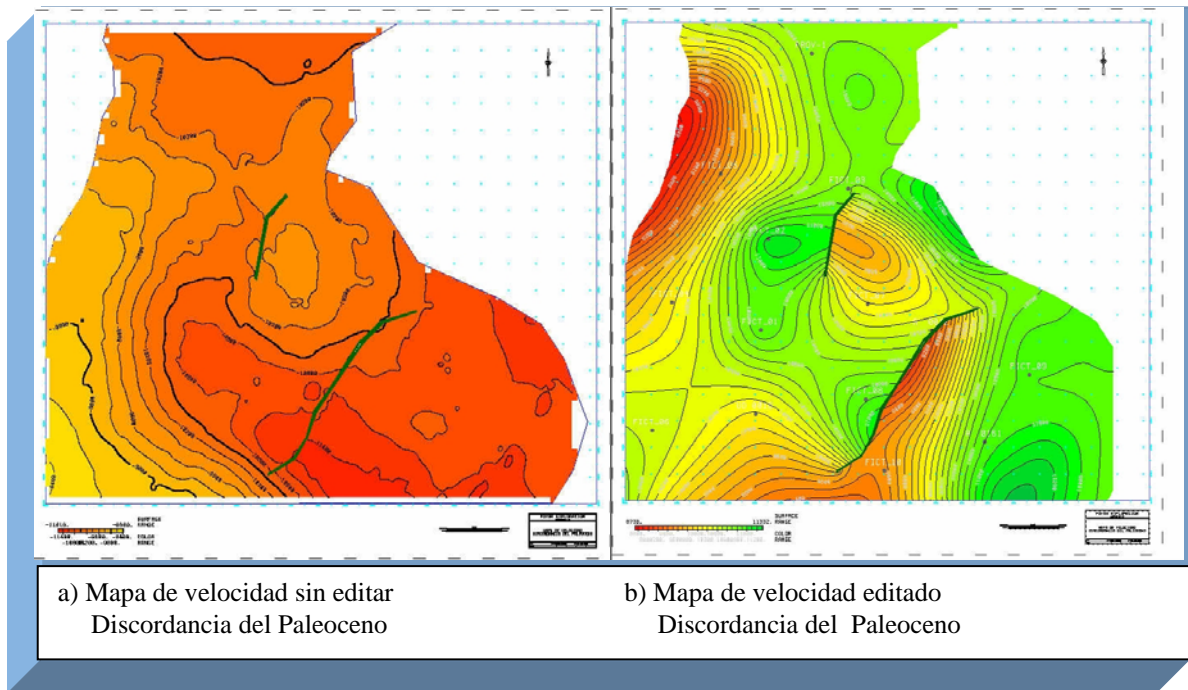


Figura 4.10. Comparación de la tendencia del mapa velocidad sin editar vs. el mapa en velocidad editado de la Discordancia del Paleoceno

Tanto en el caso de los mapas en tiempo y de los mapas en profundidad debido al mallado creado por Z-Map Plus y del algoritmo de interpolación que emplea el programa (mínimos cuadrados) se originan varias distorsiones que no son reales ni acordes con la interpretación por lo cual se hace un suavizado de los mapas para mejorar la tendencia y para darle sentido geológico a los mapas estructurales, este suavizado se realiza en Z-Map Plus.

4.11. Balanceo de secciones geológicas

El balanceo de las secciones geológicas se realiza con el objetivo de visualizar las secciones interpretadas, entender la evolución cinemática de la zona y cuantificar el acortamiento o extensión ocurrido en la región, así como para la validación de la interpretación sísmica. Para el balanceo se siguieron varios pasos, el primero fue determinar la dirección del transporte tectónico por medio del método denominado “arco y flecha”, que consiste en determinar la dirección perpendicular a cada uno de los polígonos de fallas y sumar estas direcciones. El resultado determina la dirección del transporte tectónico que es N55°O formando un ángulo de 10° con las líneas sísmicas de dirección N65°O. En la figura 4.11 se muestra el método de arco y flecha y la dirección del transporte tectónico

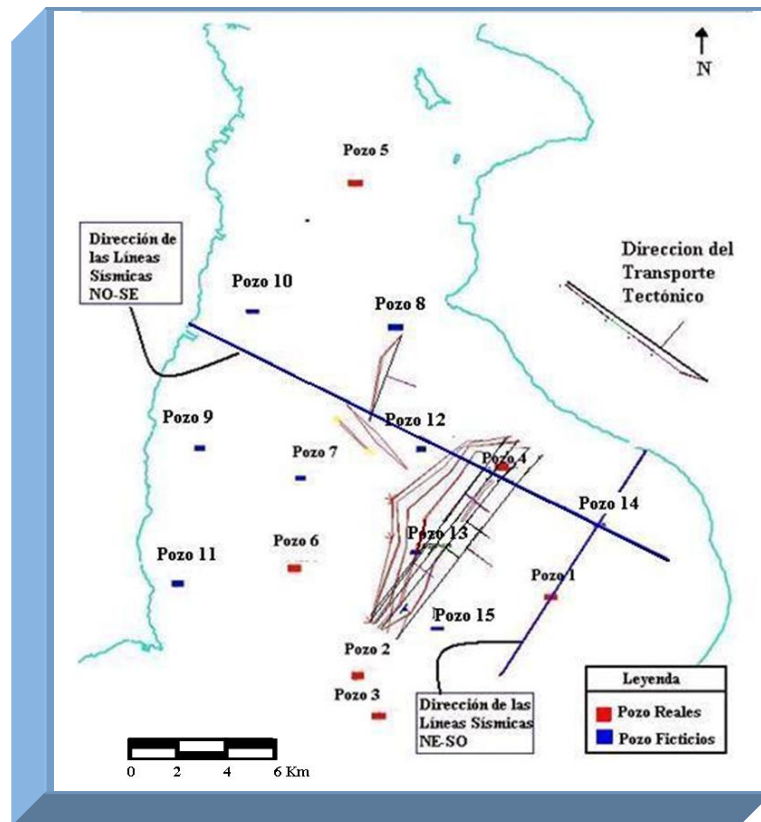


Figura 4.11. Dirección del transporte tectónico con respecto a la dirección de las líneas sísmicas

Con esta dirección se escogieron dos secciones a balancear una al norte y otra al sur de la zona de estudio. Cada una de las secciones geológicas cortan tres líneas sísmicas en profundidad (anexo C); dado que las profundidades de los horizontes en las secciones fueron tomadas a partir de los mapas estructurales en profundidad estas se pueden comparar con las líneas sísmicas en profundidad.

Para ambas secciones se realizaron los siguientes pasos:

1.- Se estudia la historia geológica de la zona para determinar los periodos de extensión y/o compresión existentes en la zona de estudio.

2.- Se construyó el perfil o corte estructural interceptando la dirección de la sección sísmica con cada uno de los mapas en profundidad.

3.- Se reconstruye cada uno de los eventos tectónicos que ejercieron sobre la zona, tomando en cuenta que la falla principal fue inicialmente normal y luego se reactivó como inversa.

4.- Primero se reconstruye la inversión tectónica, para lograr esto se horizontaliza la Discordancia del Eoceno siguiendo el método de cizalla inclinada y se levantan los horizontes.

El método de cizalla inclinada consiste en alargar el horizonte tomando en cuenta que cada punto al ser trasladado no se mueve en vertical sino con un ángulo α (figura 4.12 y 4.13), por lo tanto se debe trasladar cada uno de los puntos del horizonte que se esta alargando así como de los horizontes infrayacentes. A través de este método se puede determinar el porcentaje de acortamiento de la sección geológica.

5.- Si después de reconstruir la inversión tectónica de la Discordancia del Eoceno los horizontes infrayacentes siguen presentando inversión se procede a bajar estos horizontes empezando por el más reciente (Fm. Misoa Miembro B8).

6.- Posteriormente se horizontaliza la Fm. Misoa miembro B8 siguiendo el método de cizalla inclinada y se levantan los horizontes infrayacentes.

7.- Después se fueron regresando los movimientos normales de la falla desde el horizonte más reciente hasta el más antiguo, hasta culminar con el horizonte del Paleoceno.

8.- Posteriormente de regresar el movimiento normal de un horizonte se procede a horizontalizar el mismo por el método de cizalla inclinada.

9.- Cada vez que se realiza el método de cizalla se va calculando el acortamiento del horizonte para posteriormente calcular el acortamiento total de la sección geológica.

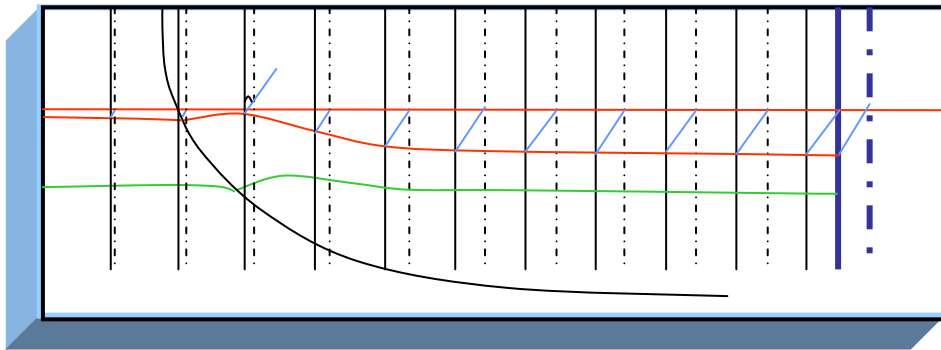


Figura 4.12. Método de cizalla inclinada estado inicial.

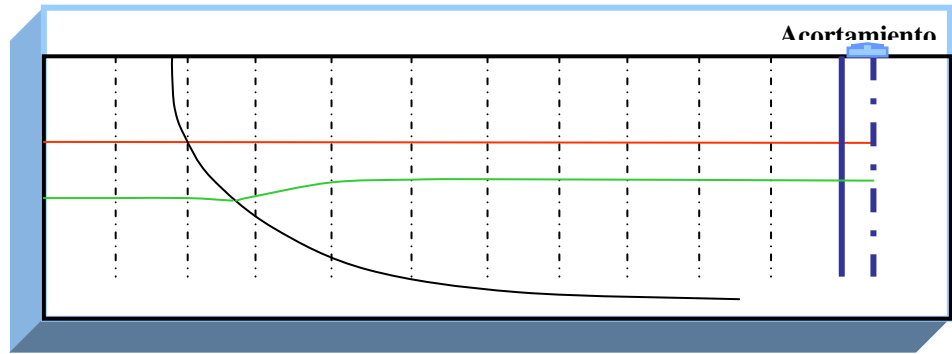


Figura 4.13 Método de cizalla inclinada estado final.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

La resolución sísmica vertical presente en el área de estudio se determinó en 5 intervalos en total: 0-3000 ms; Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B8; Fm Misoa Miembro B8-Fm. Misoa Miembro C2; Fm. Misoa Miembro C2- Horizonte Sísmico; Horizonte sísmico-Discordancia del Paleoceno, en las líneas 4, 14-2, 16 y 26 donde se encuentran los pozos: 8, 1, 7 y 11 respectivamente. En la tabla 5.1 se muestra la resolución vertical para cada intervalo en cada línea.

Tabla 5.1. Resolución vertical en los 5 intervalos estudiados de las 4 líneas seleccionadas.

Intervalo	Resolución Sísmica Vertical (pies)			
	Línea 14-2	Línea 4	Línea 16	Línea 26
Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B8	57,83	63,84	89,73	96,02
Fm. Misoa Miembro B8-Fm. Misoa Miembro C2	70,37	80,19	90,53	118,31
Fm. Misoa Miembro C2-Horizonte sísmico	137,58	102,32	118,32	137,12
Horizonte sísmico-Discordancia del Paleoceno	193,65	103,28	121,89	168,58
Intervalo de estudio (0-3000 ms)	110,96	87,26	108,83	91,83

Se observa una disminución de la resolución a medida que se profundiza esto se puede atribuir a que al momento de la adquisición sísmica en los años 1970 y 1980 hasta a principios de los 1990 los objetivos eran someros.

Para la calibración sísmica-pozo se generaron 15 curvas de velocidad las cuales se muestran a continuación desde la figura 5.1 hasta 5.15.

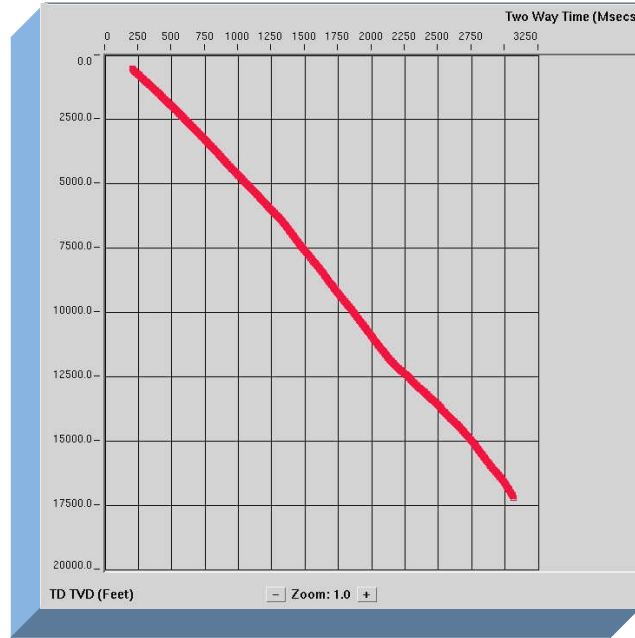


Figura 5.1. Curva de velocidad del pozo 1.



Figura 5.2. Curva de velocidad del pozo 2.

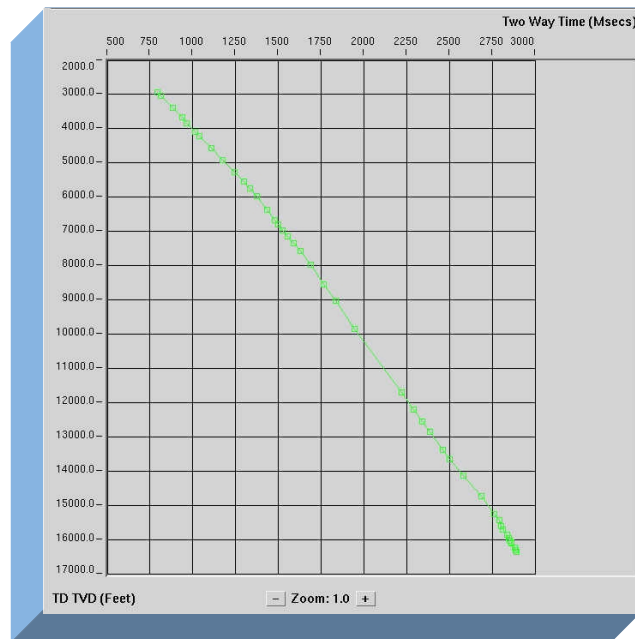


Figura 5.3. Curva de velocidad del pozo 3.



Figura 5.4. Curva de velocidad del pozo 4.

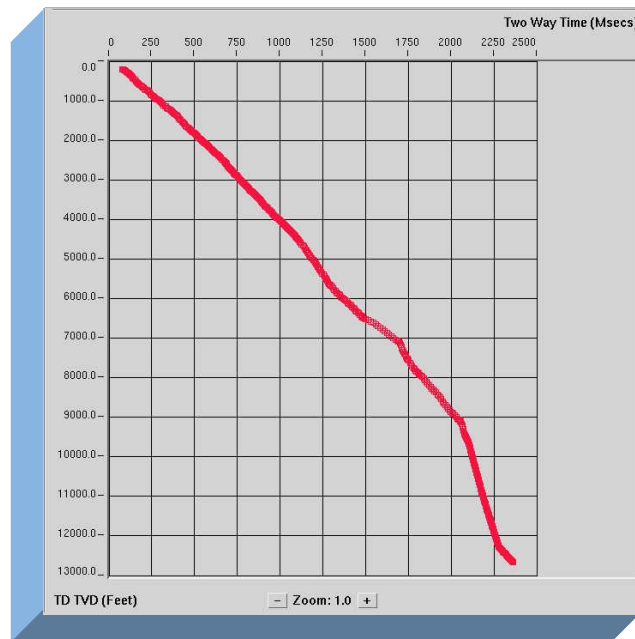


Figura 5.5. Curva de velocidad del pozo 5.

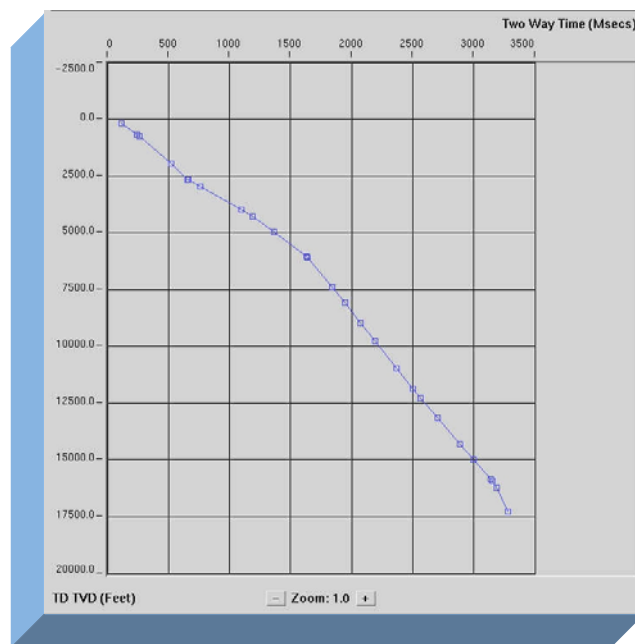


Figura 5.6. Curva de velocidad del pozo 6.

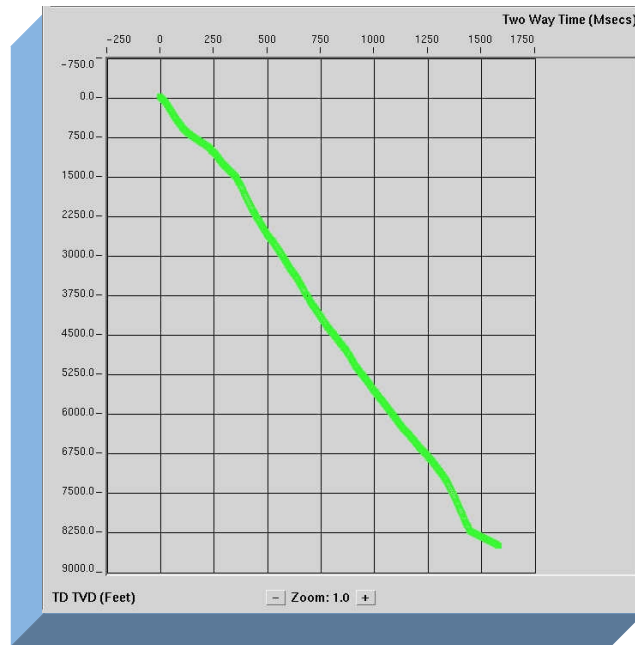


Figura 5.7. Curva de velocidad del pozo 7.

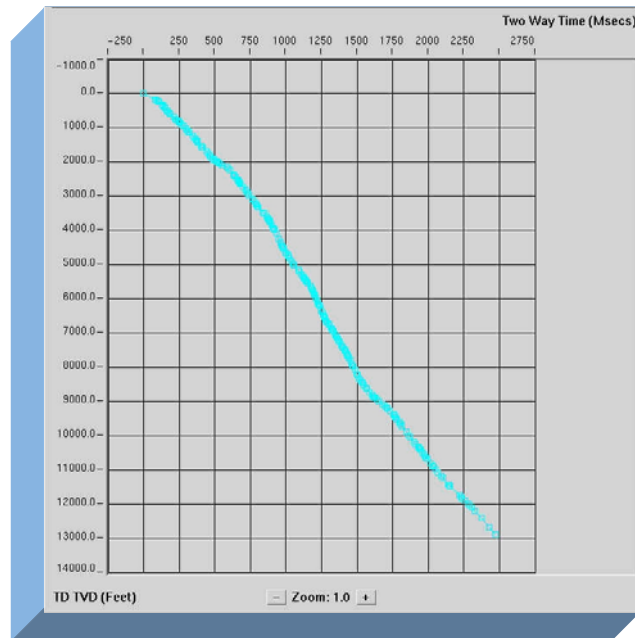


Figura 5.8. Curva de velocidad del pozo 8.

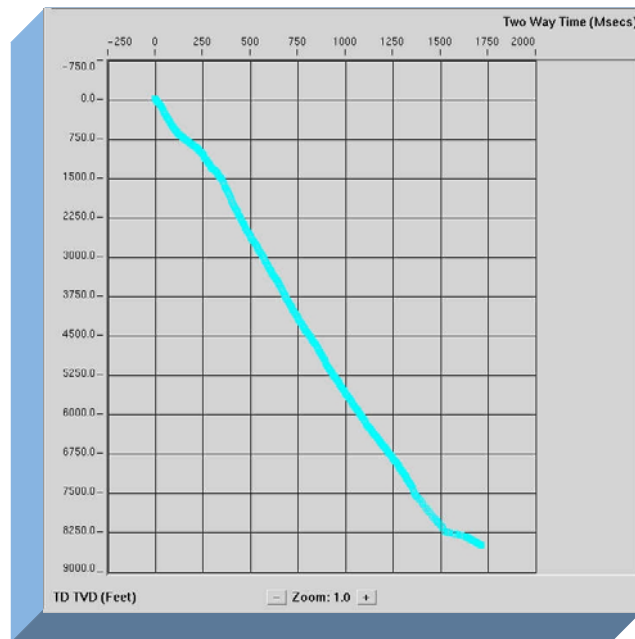


Figura 5.9. Curva de velocidad del pozo 9.

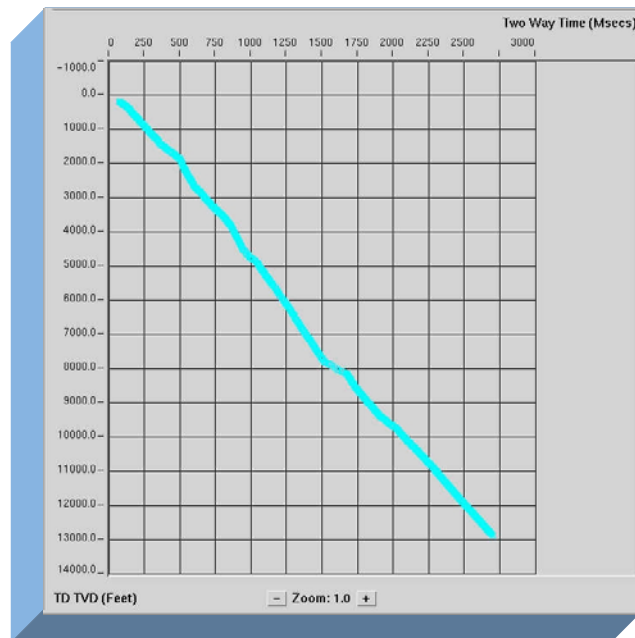


Figura 5.10. Curva de velocidad del pozo 10.

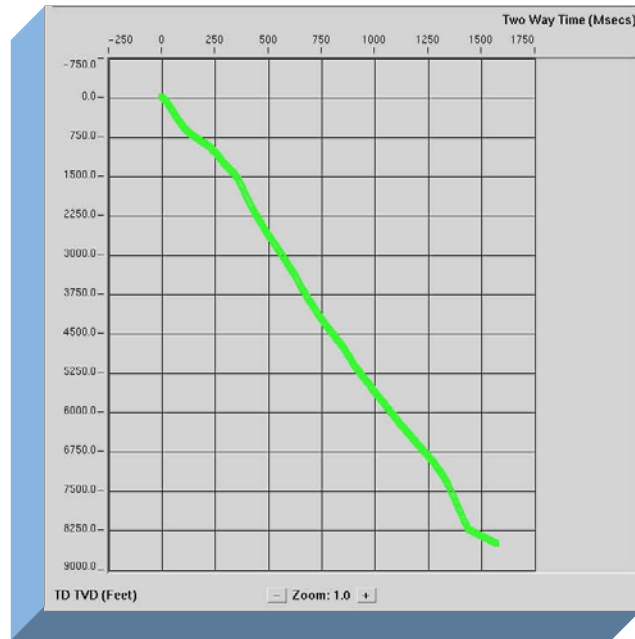


Figura 5.11. Curva de velocidad del pozo 11.

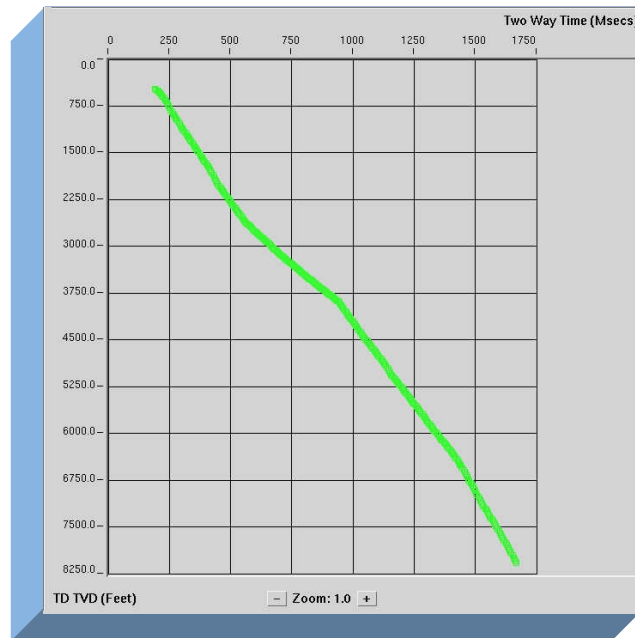


Figura 5.12. Curva de velocidad del pozo 12.

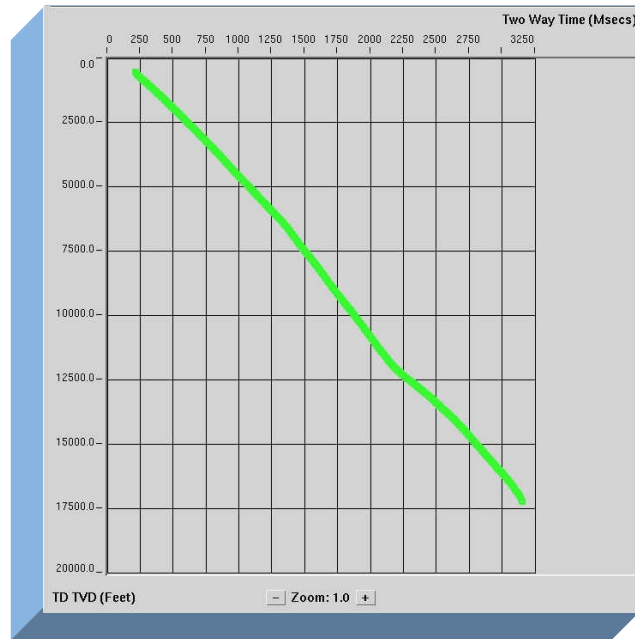


Figura 5.13. Curva de velocidad del pozo 13.



Figura 5.14. Curva de velocidad del pozo 14.



Figura 5.15. Curva de velocidad del pozo 15.

En la tabla 5.2 se muestra la profundidad máxima (TD) y la última formación observada por cada pozo.

Tabla 5.2. Profundidad máxima y última formación observada para cada pozo.

Nombre del Pozo	Profundidad Máxima (pies)	Última Formación Observada
Pozo 1	17240'	Fm. La Quinta (Jurásico)
Pozo 2	16397'	<i>No presenta topes cargados</i>
Pozo 3	16560'	Fm. La Quinta (Jurásico)
Pozo 4	8001'	Fm. Misoa Miembro C-6 (Eoceno)
Pozo 5	12667'	Fm. Mito Juan (Cretácico)
Pozo 6	8214'	Fm. Misoa Miembro C-5 (Eoceno)
Pozo 7	10000'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 8	13100'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 9	8800'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 10	13100'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 11	8600'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 12	8300'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 13	17500'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 14	17500'	Discordancia del Paleoceno
Pozo 15	16600'	Discordancia del Paleoceno

El modelo de velocidades se genero a partir de las curvas de velocidades de 15 pozos, de los cuales 6 pozos son reales y 9 ficticios, así como de las 5 superficies interpretadas en tiempo.

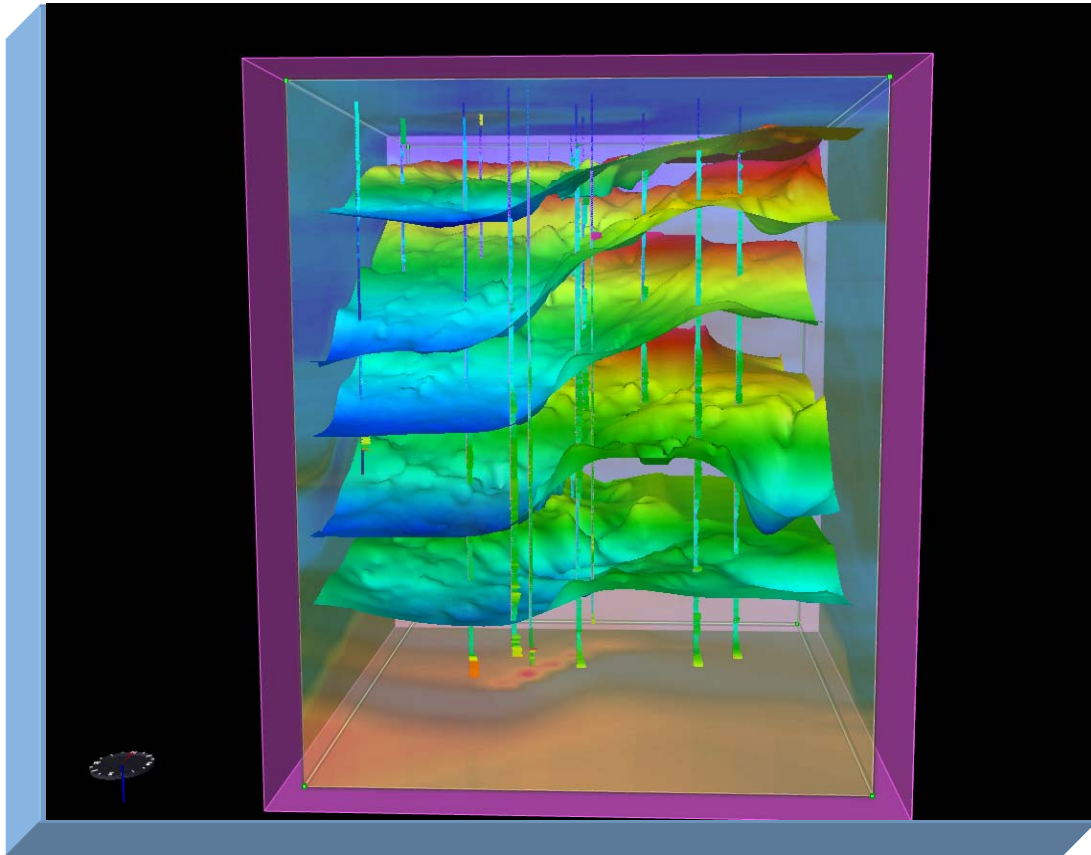


Figura 5.16. Modelo de velocidad representando las 5 superficies interpretadas con escala vertical exagerada.

El modelo de velocidad generado presenta un buen amarre en las tres primeras superficies interpretadas debido a que solo cuatro pozos reales llegan hasta la Discordancia del Paleoceno y estos se encuentran tres pozos en la parte sureste y uno en el norte de la zona de estudio.

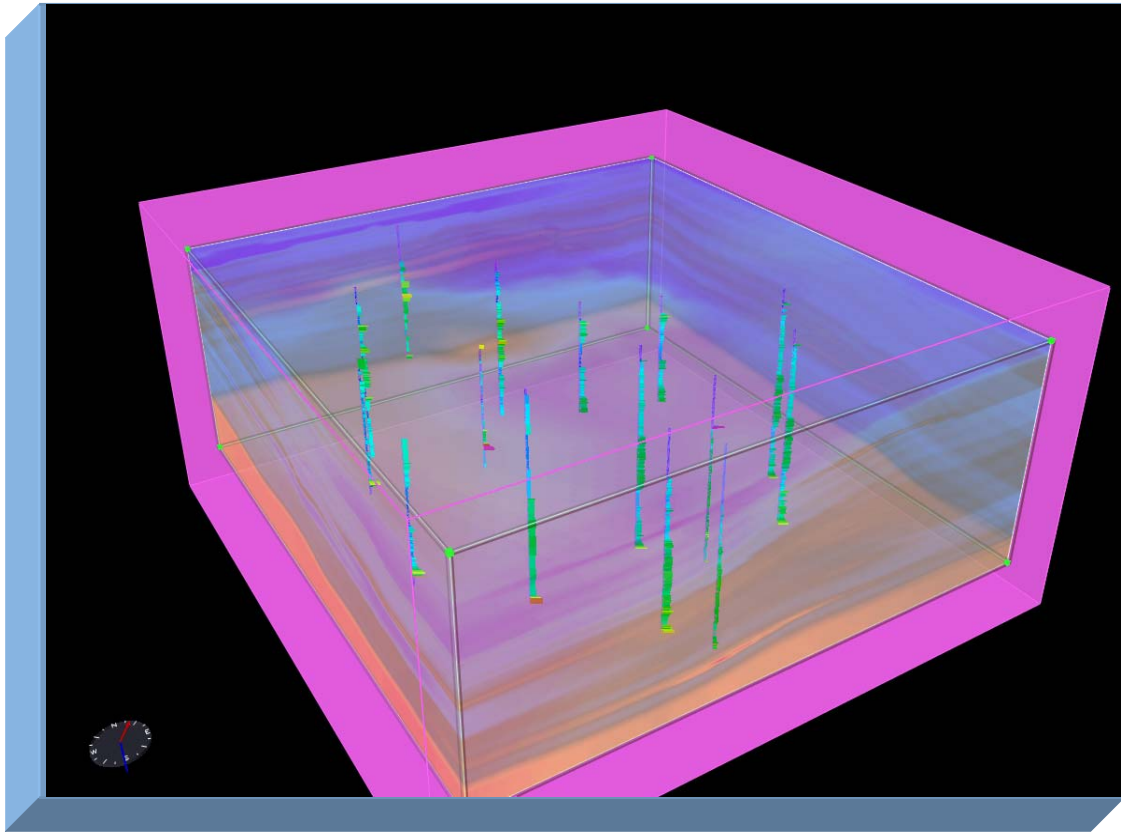


Figura 5.17. Modelo de velocidad representando la ubicación de los pozos utilizados.

Debido a esto, para la elaboración de los mapas en profundidad del Horizonte Sísmico y de la Discordancia del Paleoceno se procedió a elaborar mapas de velocidades generados a través de los mapas en tiempo y de los mapas de profundidad (obtenidos por el modelo de velocidad). A estos mapas se les editaron las velocidades de los pozos ficticios que no poseían correlación entre el mapa en tiempo y el mapa en profundidad, para posteriormente calcular los nuevos mapas de profundidad.

A continuación desde las figuras 5.18 hasta 5.29 se presentan tanto los mapas estructurales en tiempo como en profundidad para cada uno de los horizontes interpretados, así como los mapas de velocidad para el Horizonte Sísmico y para la Discordancia del Paleoceno.

5.1 Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Eoceno.

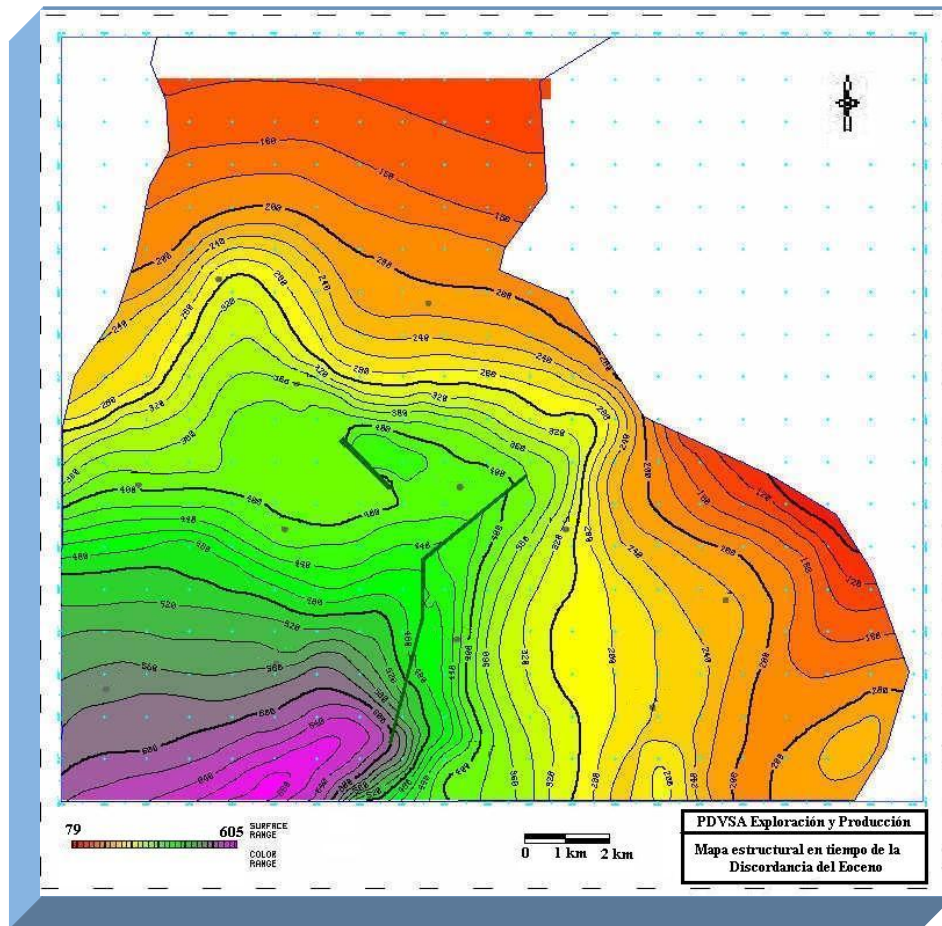


Figura 5.18. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Eoceno.

En el mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Eoceno (figura 5.18) se observa menores valores de tiempo hacia el norte así como hacia el sureste, mientras que hacia el suroeste se observan los mayores valores formando un sinclinal de bajo buzamiento. El mapa al norte presenta una tendencia este-oeste al igual que al suroeste del mapa mientras que al sureste se observa una tendencia norte-sur. En la parte central del mapa se presenta un gradiente de $60 \text{ ms} \cdot \text{km}$ el cual disminuye tanto al norte mientras que aumenta hacia el sur ($100 \text{ ms} \cdot \text{km}$).

5.2 Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Eoceno.

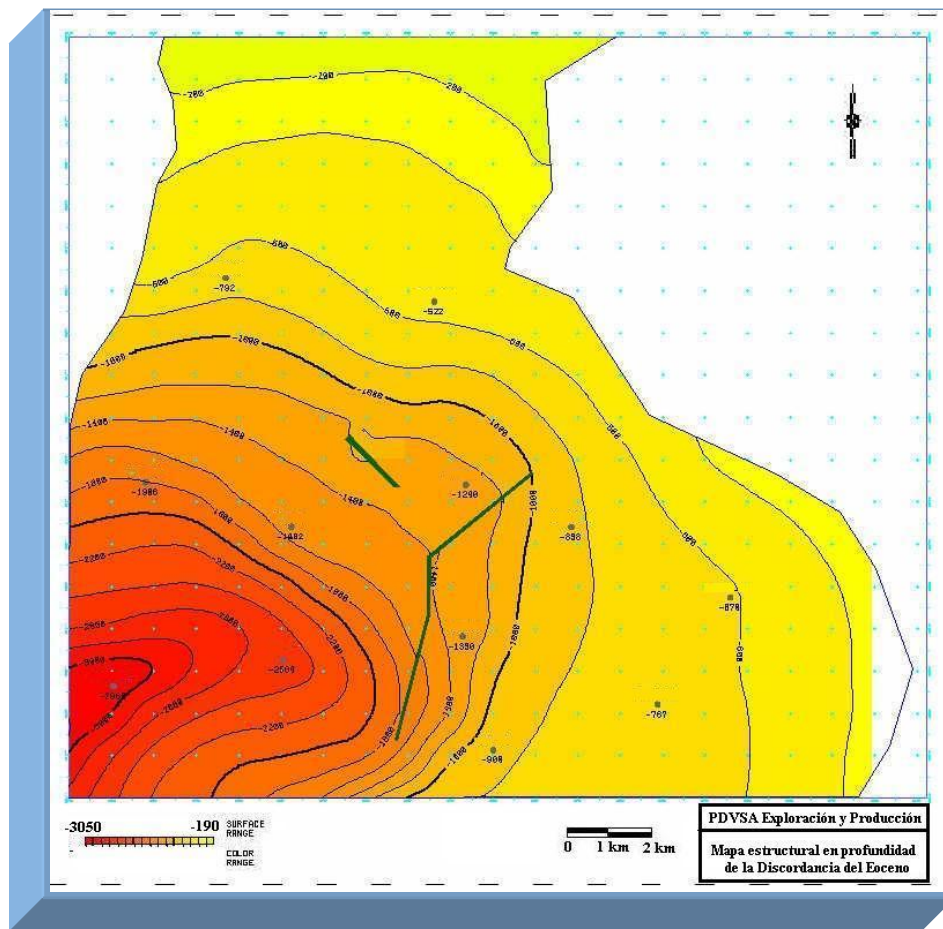


Figura 5.19. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Eoceno.

En el mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Eoceno (figura 5.19) se observa menores valores hacia el norte así como hacia el sureste, mientras que hacia el noroeste se observan los mayores valores formando un sinclinal de bajo buzamiento, lo cual se correlaciona con el mapa en tiempo. La tendencia igual que en el mapa de tiempo es este-oeste al norte y al suroeste mientras que en el sureste es norte-sur. El gradiente en la parte central es de 300 pies*km disminuyendo al norte y aumentando al sur (300 pies*km).

5.3 Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro B-8.

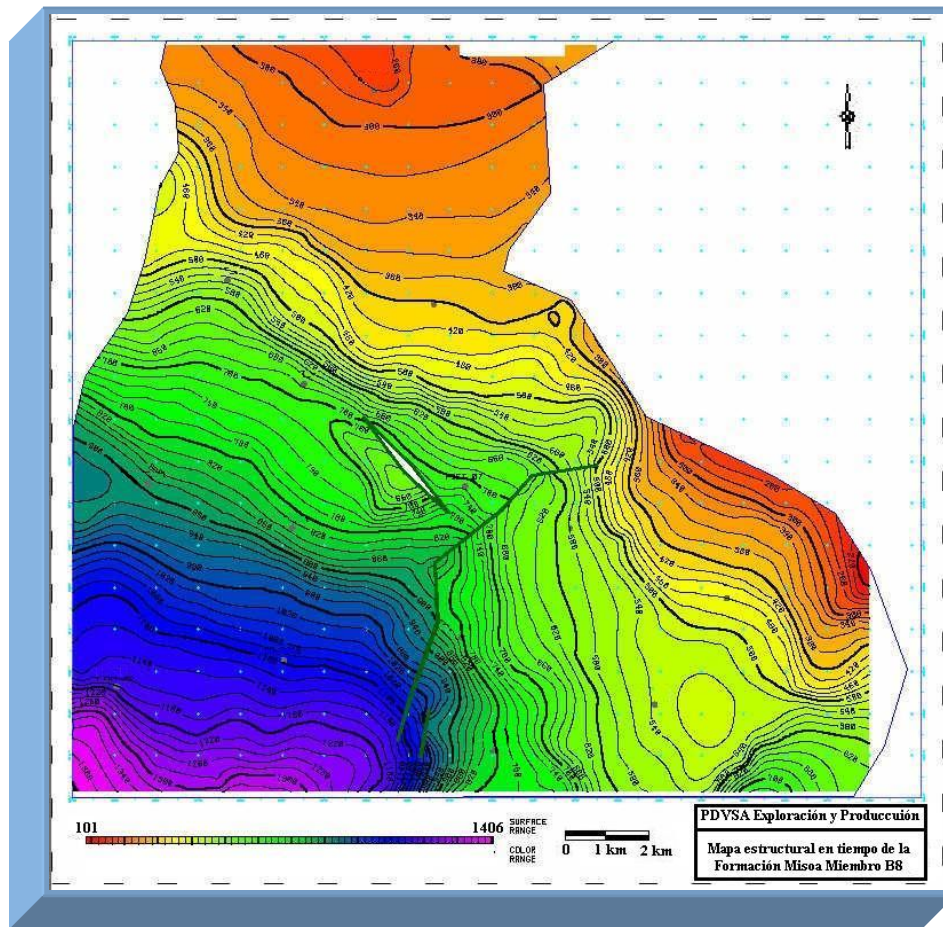


Figura 5.20. Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro B-8.

En el mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro B-8 (figura 5.20) se observa menores valores de tiempo hacia el noreste, mientras que hacia el suroeste se presentan los mayores valores, presentando una capa con buzamiento hacia el suroeste. La tendencia al norte y al suroeste es este-oeste mientras que al sureste es noroeste-sureste. El gradiente en la parte central del mapa es de 100 ms*km disminuyendo hacia el norte y sur del mapa.

5.4 Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro B-8.

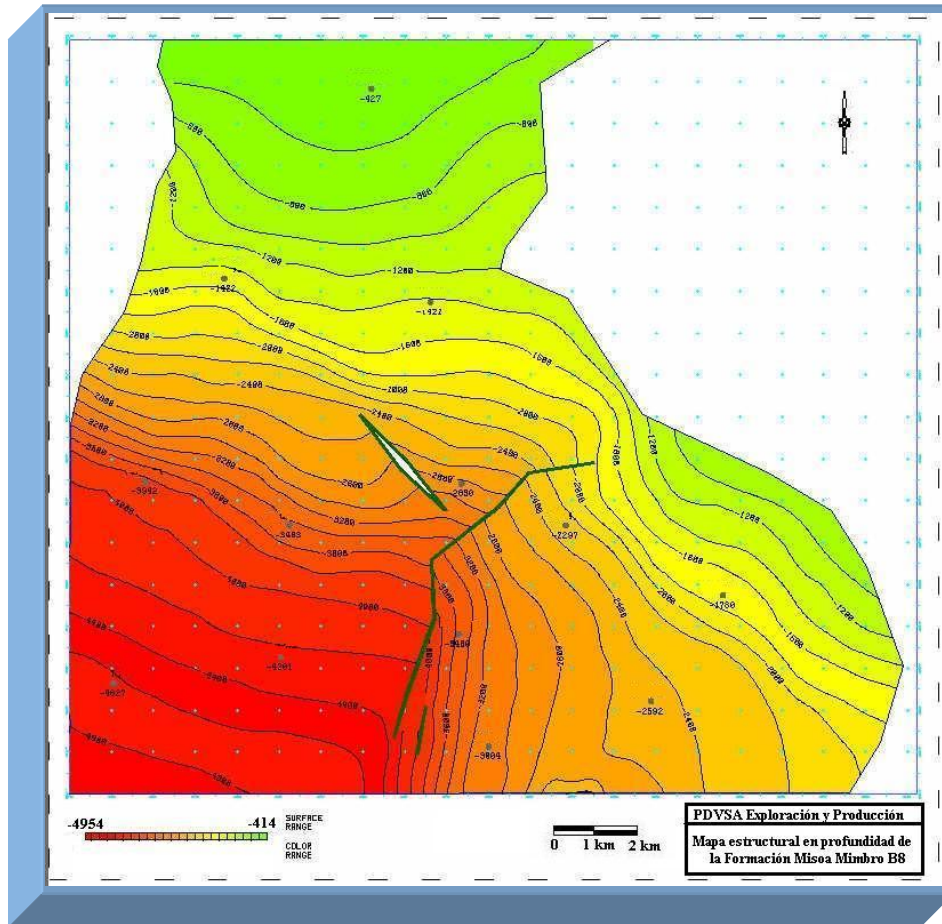


Figura 5.21. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro B-8.

En el mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro B-8 (figura 5.21) se observa menores valores de tiempo hacia el noreste, mientras que hacia el suroeste se observan los mayores valores, presentando una capa con buzamiento hacia el suroeste, lo cual presenta analogía con el mapa en tiempo. La tendencia presente es la misma que para el mapa en tiempo este-oeste hacia el norte y suroeste del mapa y noroeste-sureste hacia el sureste. El gradiente observado en la parte central es de 400 pies*km disminuyendo hacia el sur y norte del mapa.

5.5 Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro C-2.

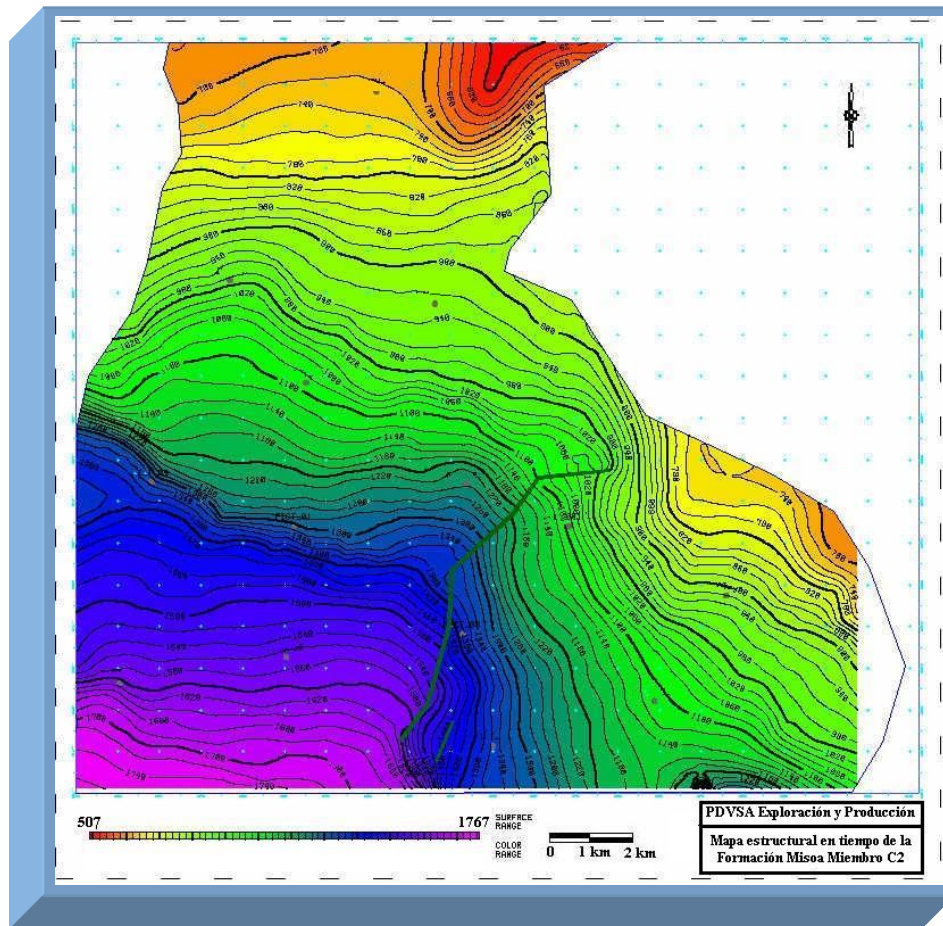


Figura 5.22. Mapa Estructural en Tiempo de la Fm. Misoa Miembro C-2.

En el mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro C-2 (figura 5.22) igual que el mapa de la miembro B-8 presenta menores valores hacia el noreste aumentando hacia suroeste, presentando una capa con buzamiento hacia el suroeste. La tendencia al norte y suroeste es de este-oeste mientras que para el sureste es de noroeste-sureste. El gradiente presente en la parte central es de 100 ms*km disminuyendo hacia el norte y sur del mapa.

5.6 Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro C-2.

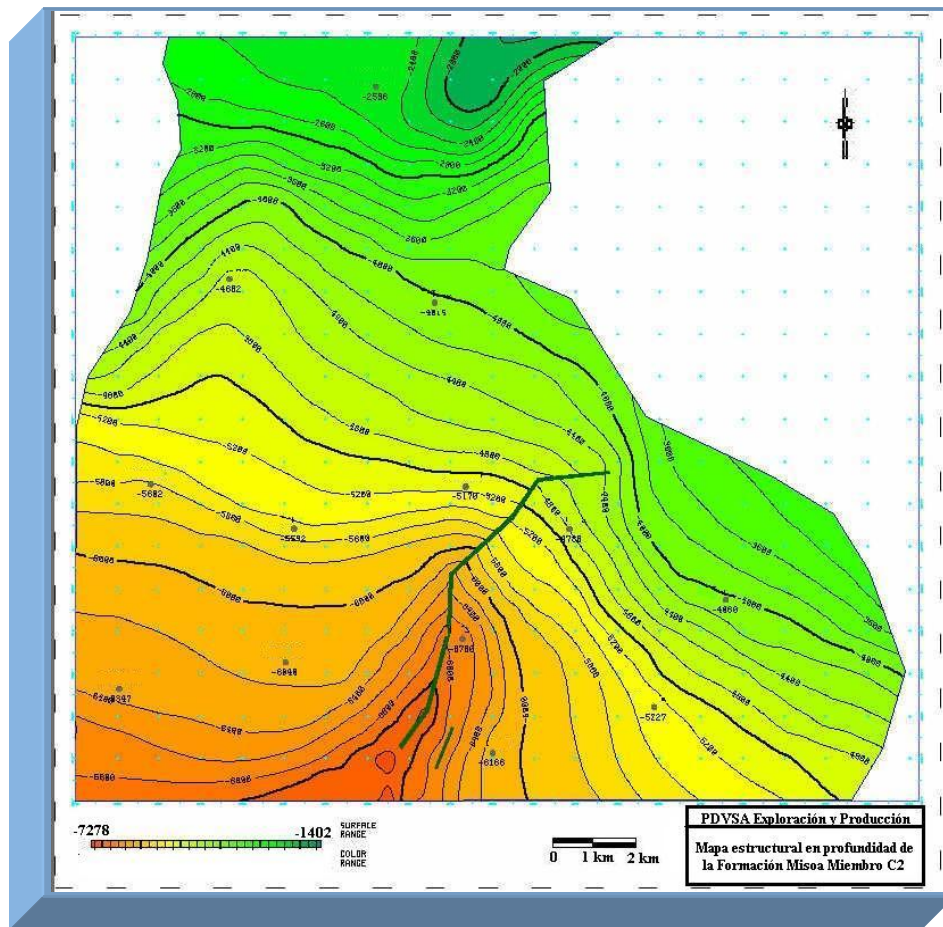


Figura 5.23. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro C-2.

En el mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro C-2 (figura 5.23) igual que el mapa de la miembro B-8 presenta menores valores hacia el noreste aumentando hacia suroeste, presentando una capa con buzamiento hacia el suroeste, correlacionando así con el mapa en tiempo. Se observa una tendencia este-oeste tanto al norte como al suroeste del mapa mientras que al sureste se presenta una tendencia noroeste-sureste. El gradiente en la parte central del mapa es de 400 pies*km disminuyendo hacia el norte y hacia el sur.

5.7 Mapa estructural en tiempo del Horizonte Sísmico.

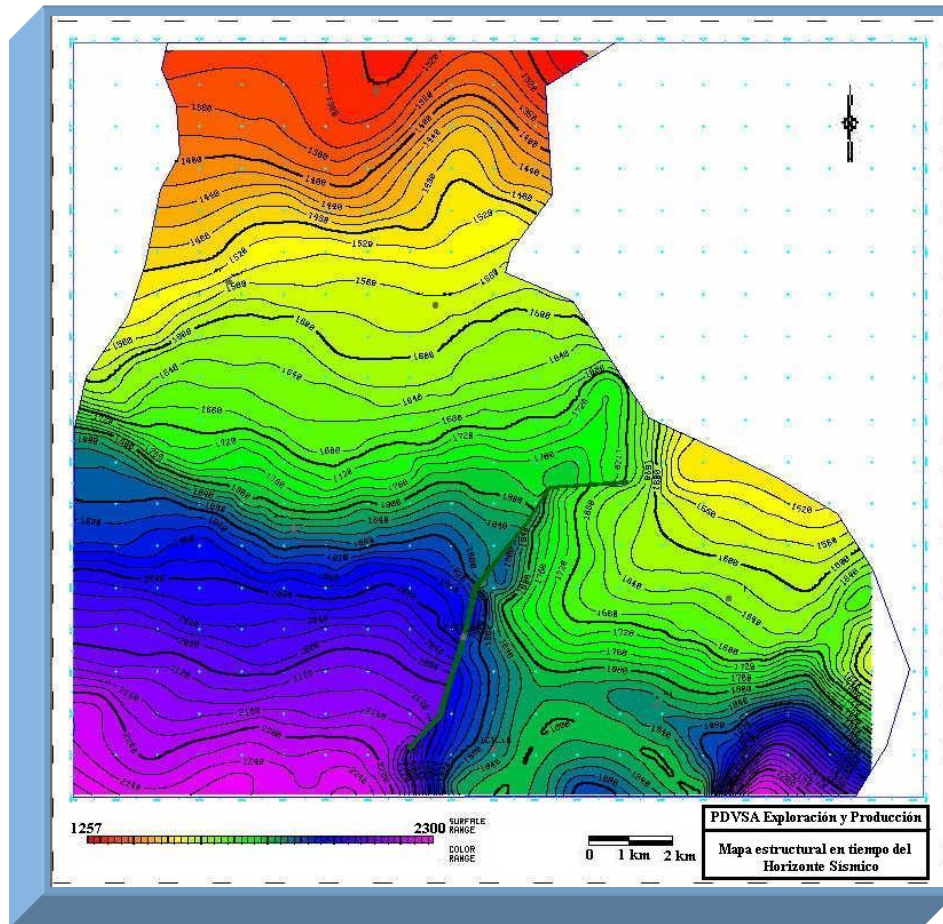


Figura 5.24. Mapa estructural en tiempo del Horizonte Sísmico.

En el mapa estructural en tiempo del Horizonte Sísmico (figura 5.24) presenta menores valores hacia el noreste de la zona aumentando hacia el suroeste. En el bloque este de la falla principal se observa menores valores de tiempo que del bloque oeste, debido al roll over producido por el período de extensión. La tendencia este-oeste se observa tanto al norte como al suroeste, en el sureste se presenta una tendencia noroeste-sureste. El gradiente en la parte central del mapa es de $90 \text{ ms} \cdot \text{km}$ disminuyendo hacia el norte y el sur.

5.8 Mapa de velocidad del Horizonte Sísmico.

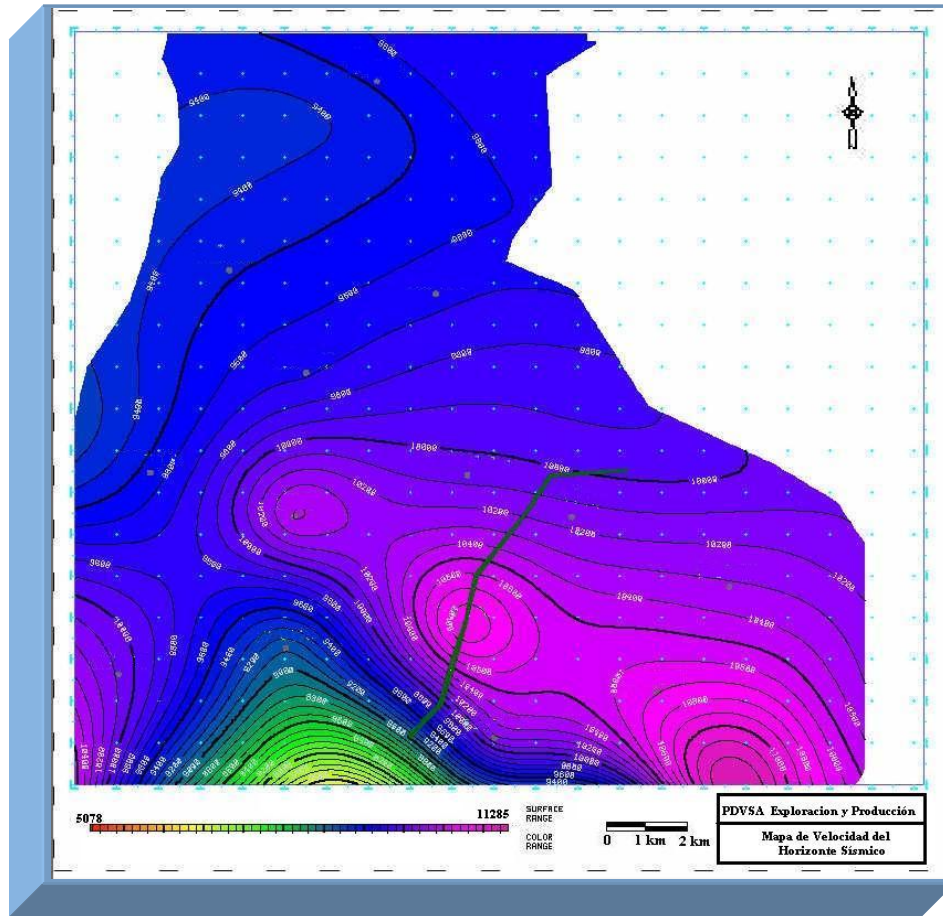


Figura 5.25. Mapa de velocidad del Horizonte Sísmico.

En el mapa de velocidad del Horizonte Sísmico (figura 5.25) se observan valores constantes en la parte norte del mismo, mientras que hacia sureste se observa un aumento de velocidad (bloque levantado de la falla principal), y hacia el sur (bloque deprimido de la falla) una disminución de velocidad. Se observa un gradiente de 100 pies/seg*km en la parte central del mapa disminuyendo hacia el norte, hacia el sur el gradiente presente es de 600 pies/s*km. La tendencia al norte y al suroeste del mapa es noreste-suroeste y al sureste del mapa es noroeste-sureste.

5.9 Mapa estructural en profundidad del Horizonte Sísmico.

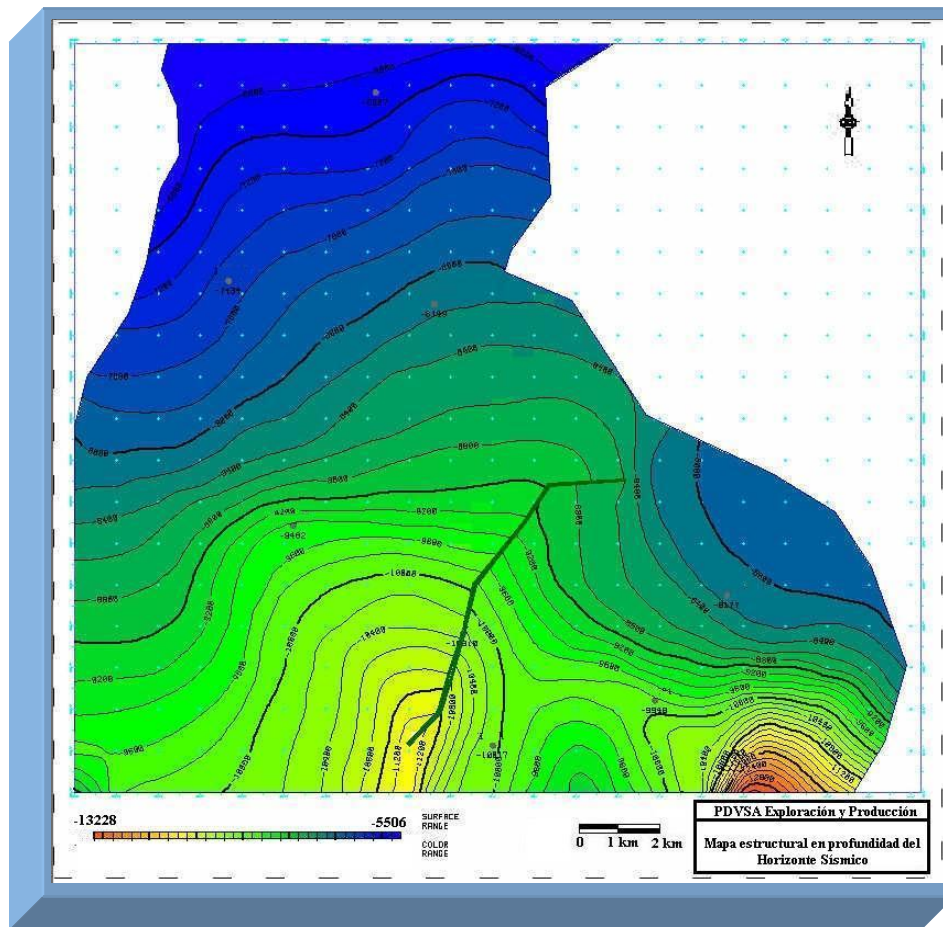


Figura 5.26. Mapa estructural en profundidad del Horizonte Sísmico.

En el mapa estructural en profundidad del Horizonte Sísmico (figura 5.26) igual que en el mapa en tiempo se observan menores valores hacia el noreste de la zona aumentando hacia el suroeste, así como el roll over producido por el fallamiento normal, presentando analogía con el mapa en tiempo. La tendencia observada al norte y al suroeste es de noreste-suroeste mientras que al sureste es noroeste-suroeste. El gradiente en la parte central del mapa es de 500 pies*km disminuyendo tanto al norte como al sur.

5.10 Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno.

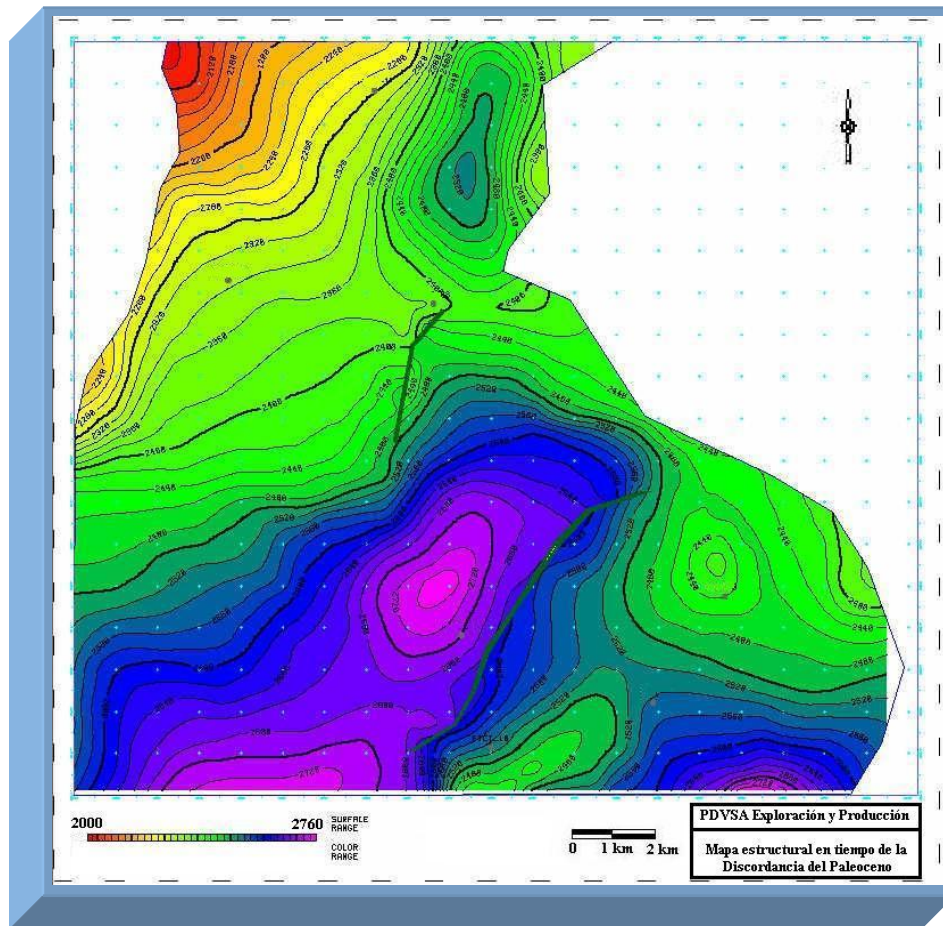


Figura 5.27. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno.

En el mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno (figura 5.27) presenta menores valores hacia el noreste de la zona aumentando hacia el suroeste. En el bloque este de la falla principal se observa menores valores de tiempo que del bloque oeste el cual presenta los mayores valores de tiempo produciendo un sinclinal, debido al roll over producido por proceso de extensión. La tendencia noreste-suroeste se observa tanto al norte como al suroeste mientras que al sureste es noroeste-sureste. En la parte central del mapa se presenta un gradiente de $90 \text{ ms} \cdot \text{km}$ disminuyendo hacia el norte y sur.

5.11 Mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno.

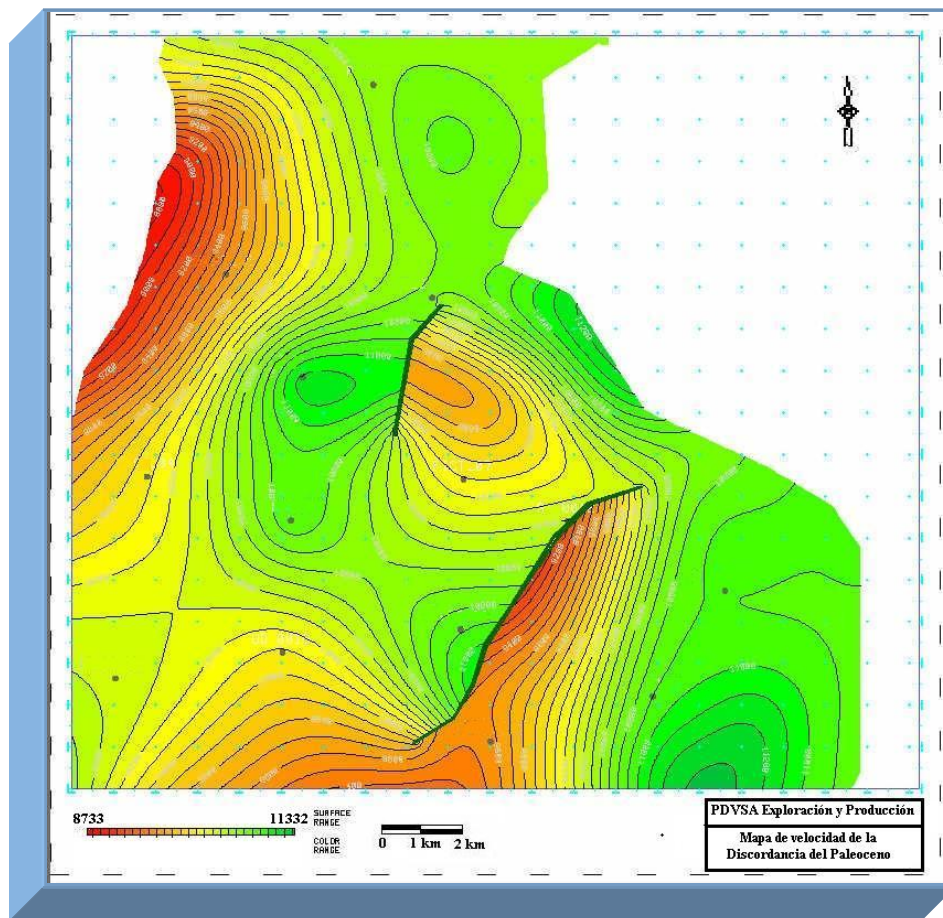


Figura 5.28. Mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno.

En el mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno (figura 5.28) se observa en la parte norte del mapa un aumento de velocidad del oeste al este. De igual forma se observan mayores velocidades en los bloques al este de las dos fallas, mientras que el resto del mapa presenta valores constantes. El gradiente en la parte central del mapa es de 200 pies/s*km. La tendencia al norte y al sureste es norte-sur, al suroeste es noreste-suroeste.

5.12 Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Paleoceno.

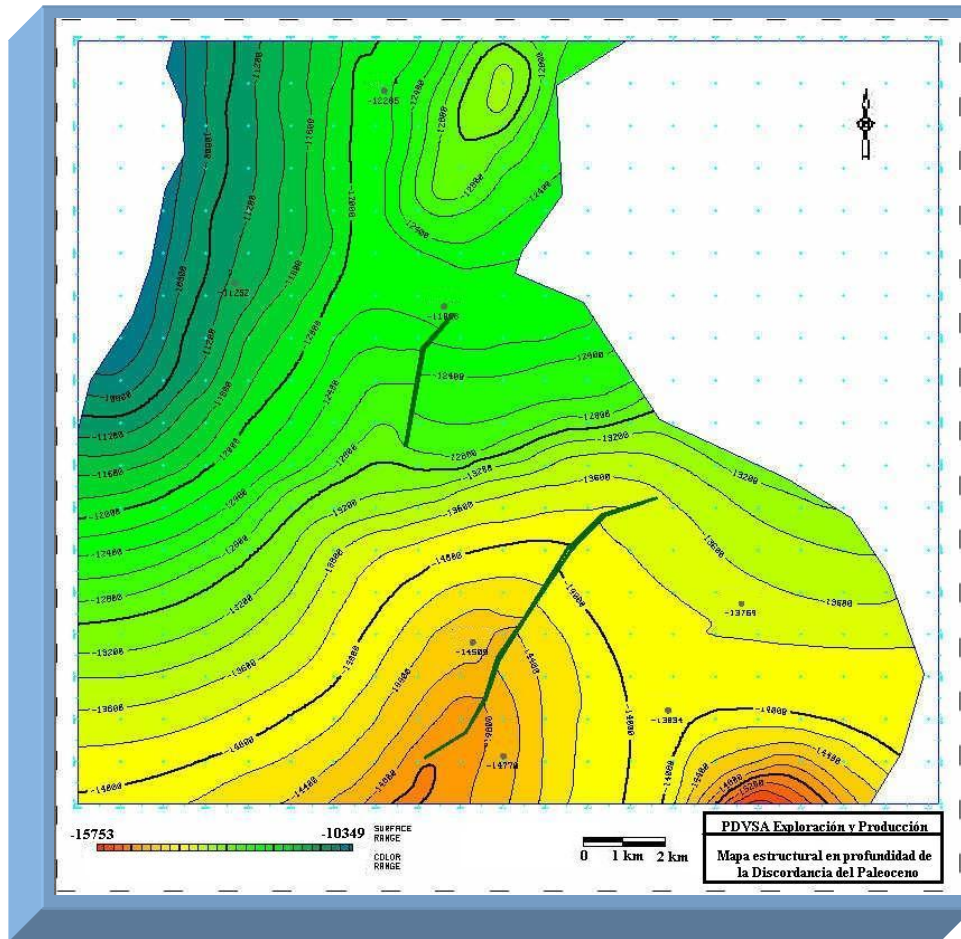


Figura 5.29. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Paleoceno.

En el mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno (figura 5.29) presenta menores valores hacia el noreste de la zona aumentando hacia el suroeste. En el bloque este de la falla principal se observa menores valores que en el bloque, debido al roll over producto del proceso de la extensión, correlacionando con el mapa en tiempo. El gradiente en la parte central del mapa es 500 pies*km disminuyendo tanto hacia el norte como hacia el sur. La tendencia al norte es norte-sur, al suroeste es noreste-suroeste y al sureste es este-oeste.

La zona de estudio se encuentra en el Lago de Maracaibo en la parte norte de su cuenca, en la zona levantada de la misma y en el bloque levantado de la falla de Icotea.

La tectónica de la zona de estudio esta enmarcada por un período de extensión entre el Paleoceno y el Eoceno Medio (previo a la sedimentación de la Fm. Misoa Miembro C-2), donde se produce la formación del sistema de fallas lítricas con una orientación preferencial noreste-suroeste. Durante el Eoceno Medio se observa subsidencia y sedimentación con relativa calma tectónica (depositación de la Fm. Misoa Miembro C-2 hasta Miembro B-8).

Para el Eoceno Tardío-Oligoceno producto de la compresión ocasionada por el emplazamiento de las Napas de Lara se observa el levantamiento de la Sierra de Perijá ocasionando la formación de la Discordancia del Eoceno. Posteriormente en el Mioceno producto del levantamiento de la Cordillera de los Andes se produce la inversión afectando al sistema de falla al este de la zona de estudio.

En la falla principal ubicada a este de la zona de estudio se observa un cese del moviendo normal en el Eoceno Medio, para luego sufrir una reactivación inversa en el Mioceno iniciándose esta de sur a norte.

Se observa una segunda falla lítrica con la misma dirección que la falla principal al noroeste de la zona de estudio que se observa hasta el Paleoceno. También se observan fallas normales en el Post-Eoceno hacia el este de la zona de estudio, generadas por acomodamiento de los estratos a causa de la inversión.

La Discordancia del Eoceno se presenta angular contra los estratos suprayacente (top lap), se encuentra mas profunda hacia el suroeste y se levanta hacia el noreste. La Discordancia del Paleoceno coincide con el tope de la Fm. Guasare, presentándose concordante con las formaciones suprayacentes.

Las secciones geológicas balanceadas tienen un rumbo de N55O, la sección al norte pasa por el pozo 14 con una extensión de 22,5 km, mientras que la sección al sur pasa por el pozo 1 con una extensión de 19,5 km (figura 5.30)

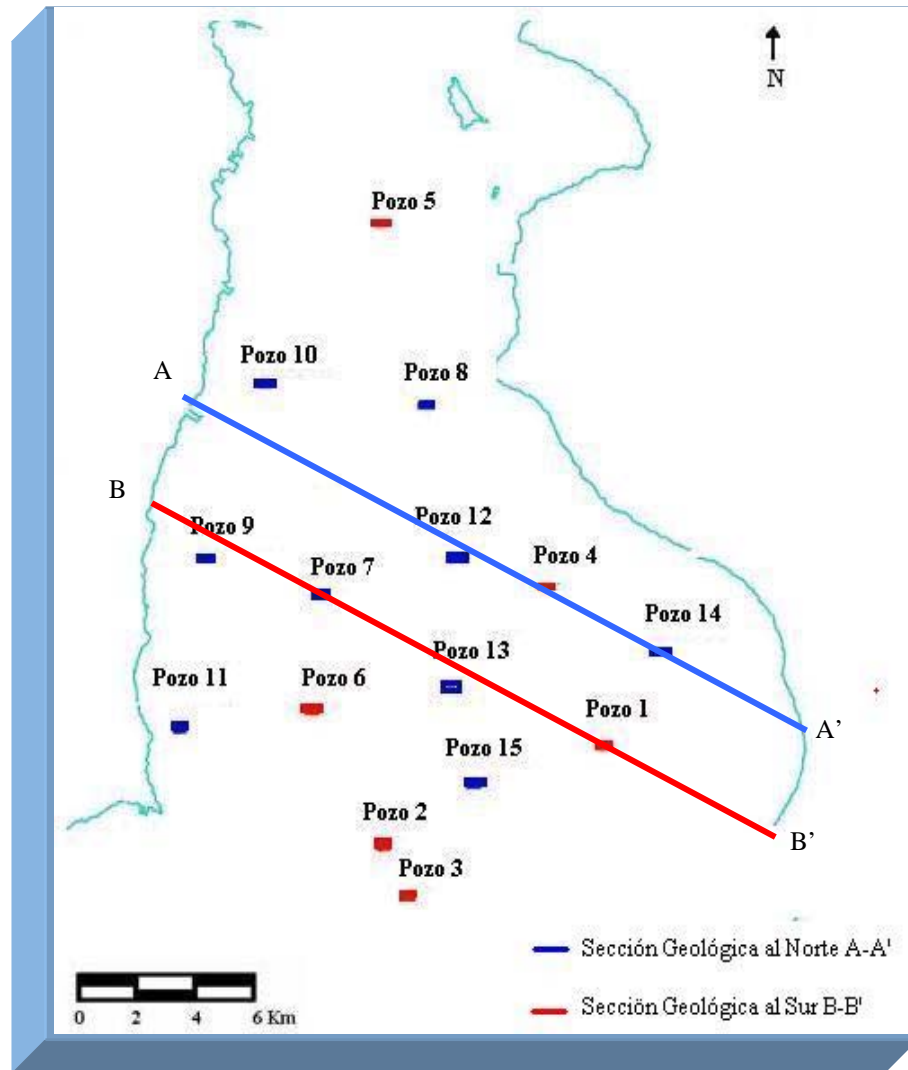


Figura 5.30. Ubicación de las secciones geológicas a balancear.

A continuación desde las figuras 5.31 hasta 5.38 se presenta el balanceo de la sección al norte (A-A').

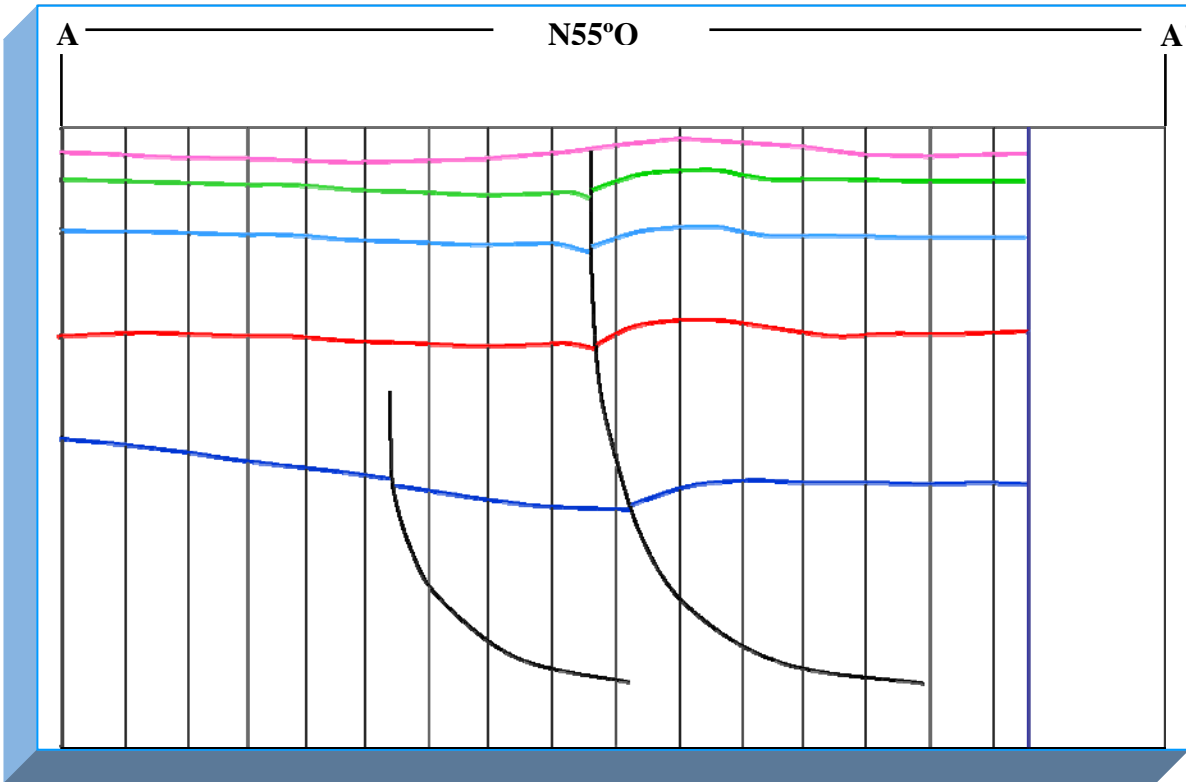


Figura 5.31. Sección geológica A-A' con una extensión de 22,5 km.

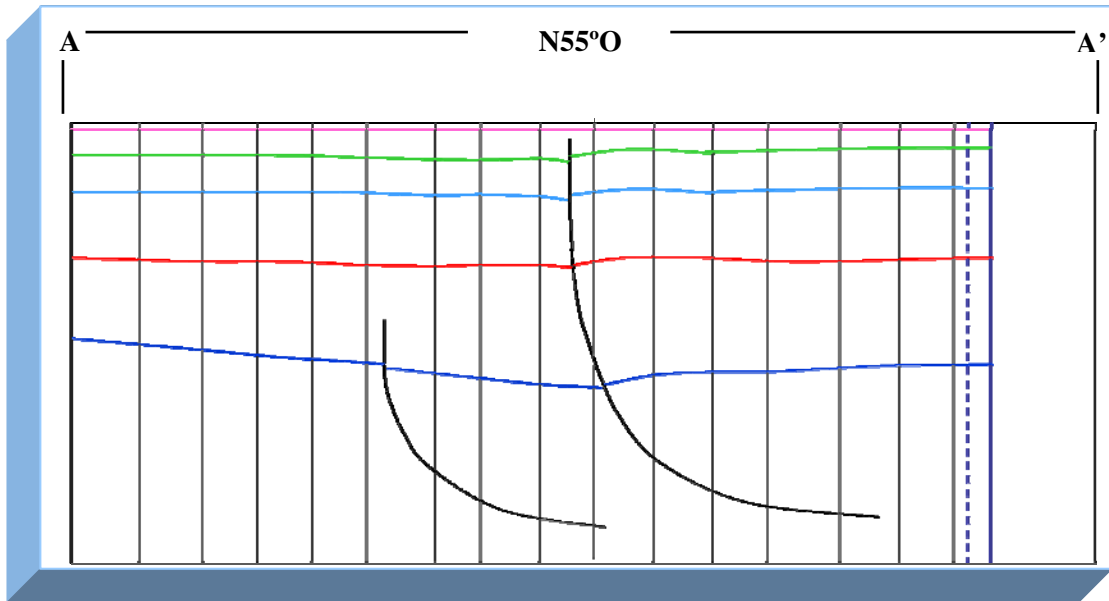


Figura 5.32. Horizontalización de la Discordancia del Eoceno de la sección A-A'

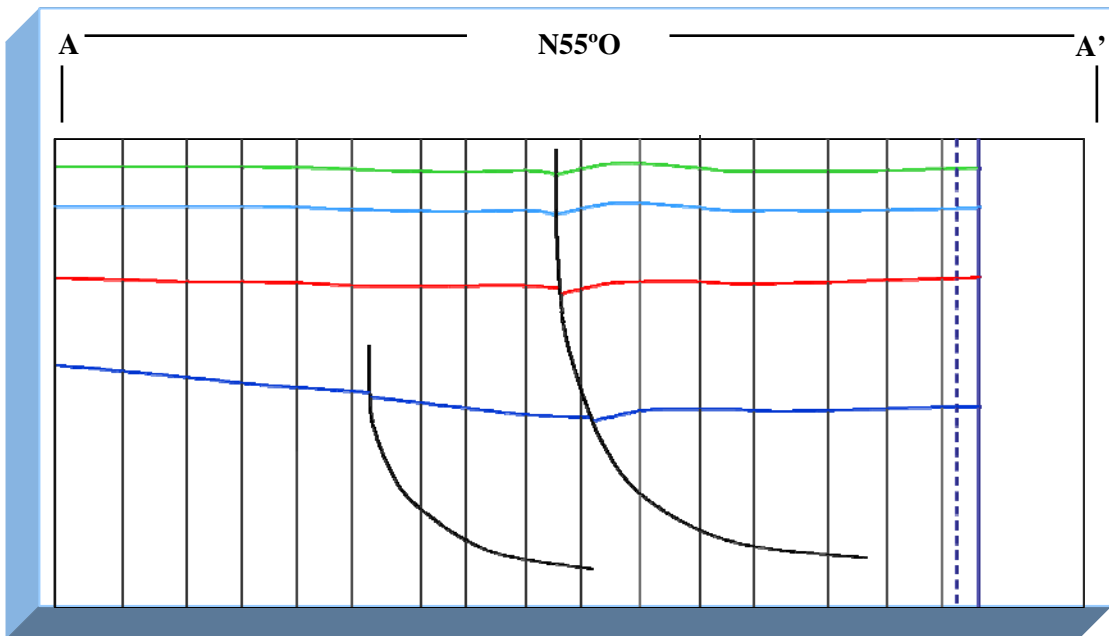


Figura 5.33. Regresión de la inversión tectónica del Miembro B8 de la sección A-A'.

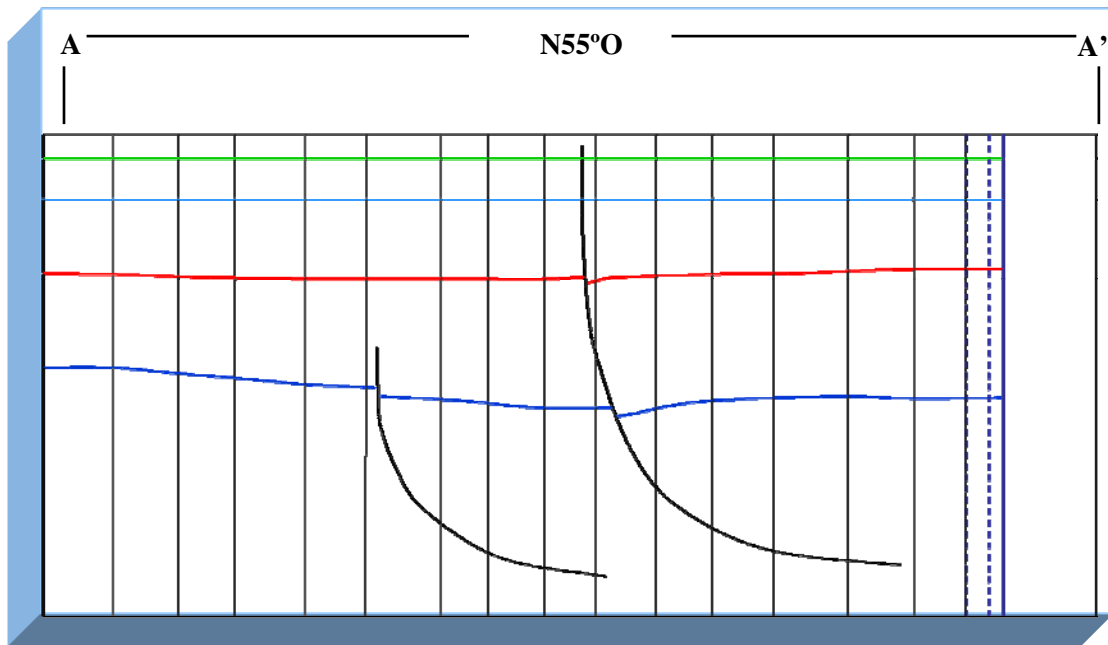


Figura 5.34. Horizontalización del Miembro B8 y del Miembro C2 de la sección A-A'.

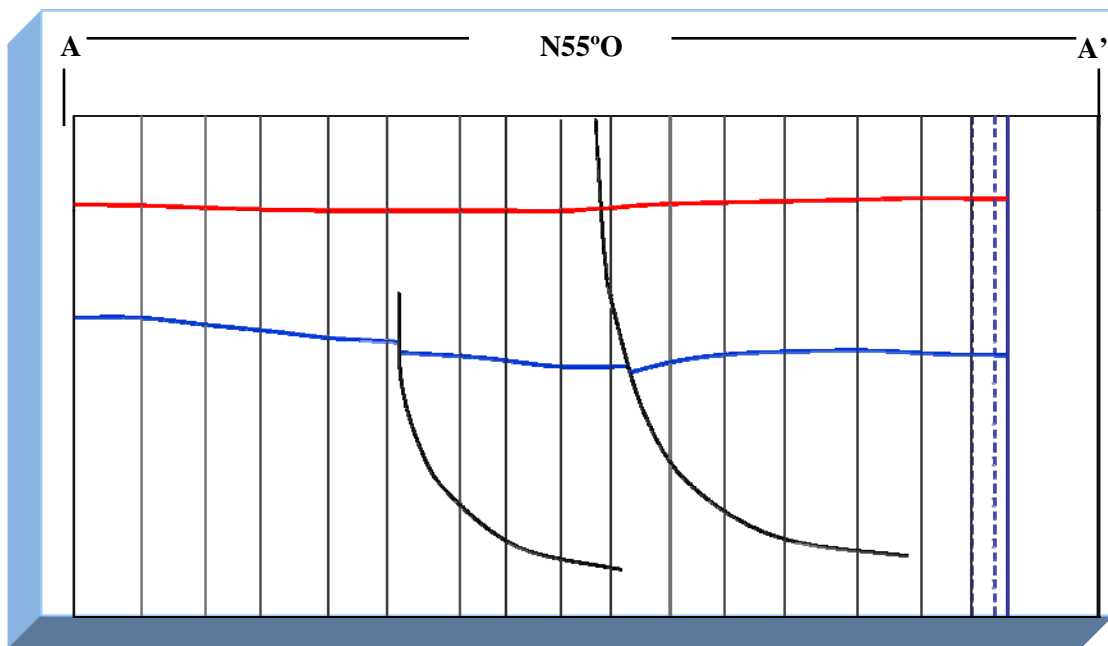


Figura 5.35. Regresión del movimiento normal del Horizonte Sísmico de la sección A-A'.

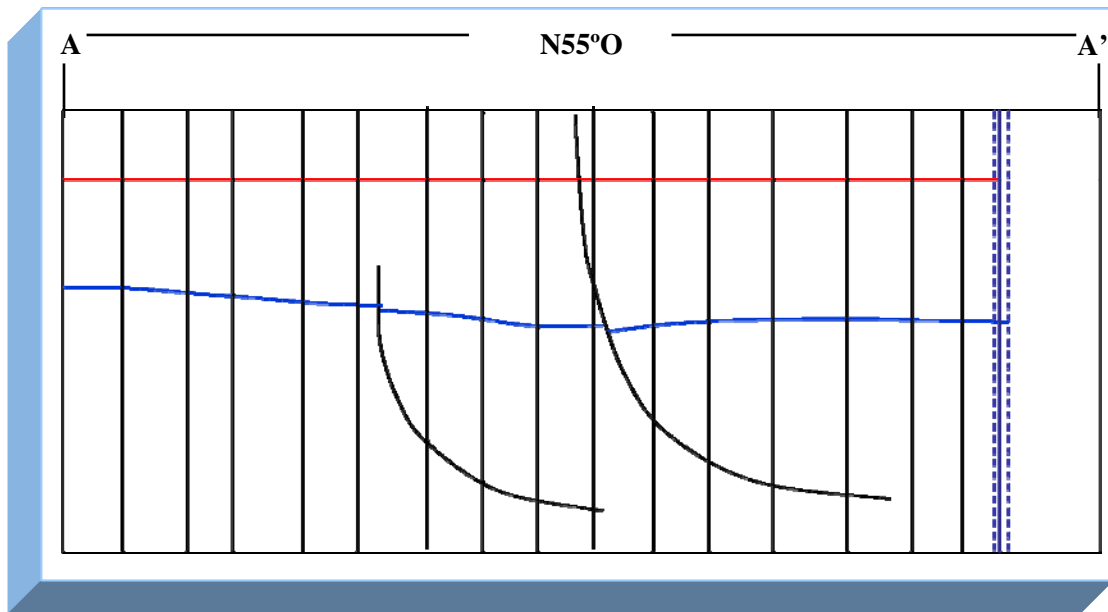


Figura 5.36. Horizontalización del Horizonte Sísmico de la sección A-A'.

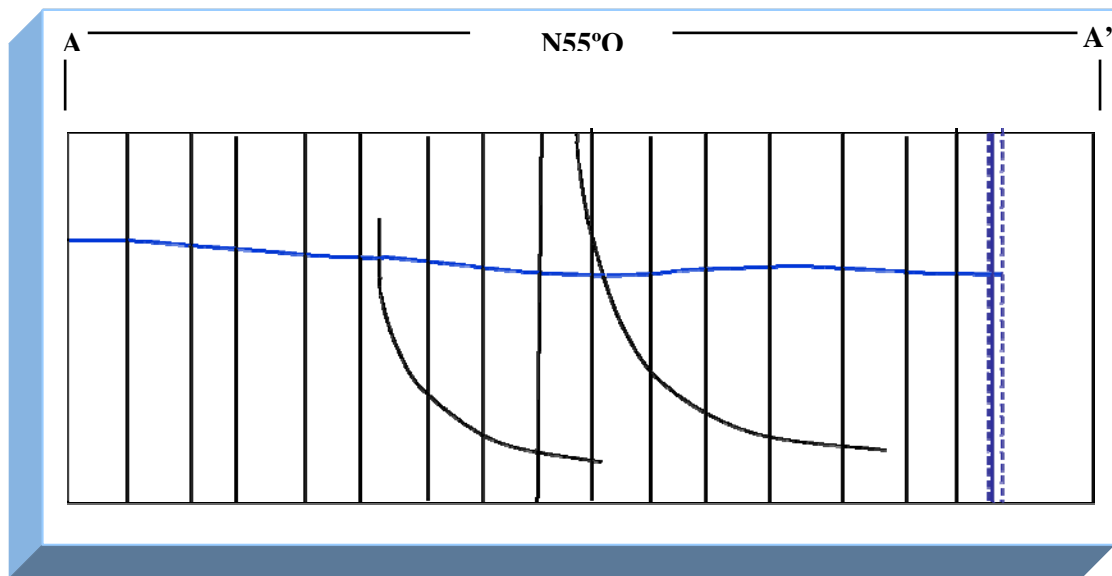


Figura 5.37. Regresión del movimiento normal de la Discordancia del Paleoceno de la sección A-A'.

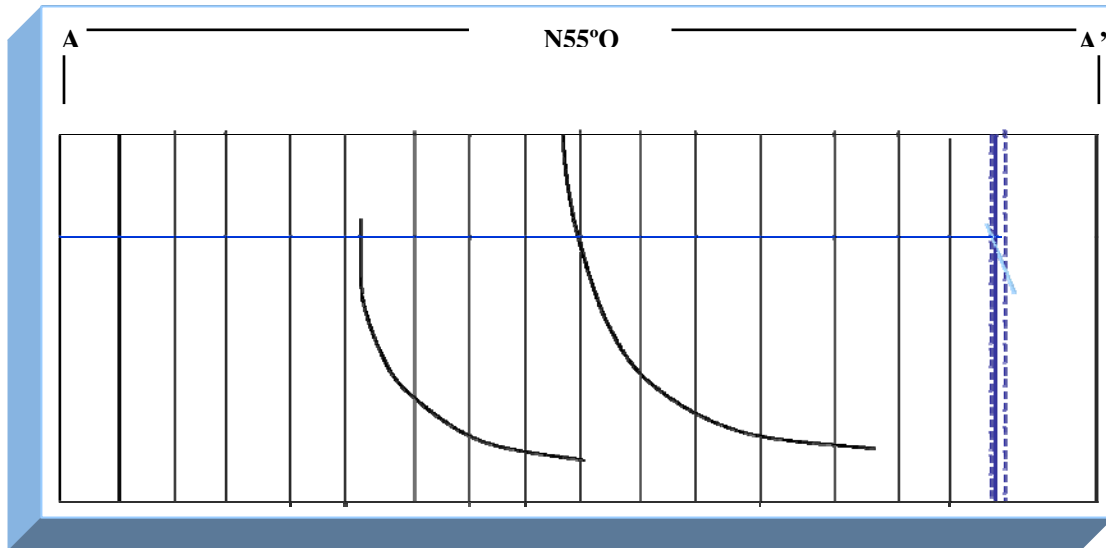


Figura 5.38. Horizontalización de la Discordancia del Paleoceno de la sección A-A'.

Esta sección presenta un acortamiento de 400 m lo cual representa un 2% de su longitud ocasionado por la compresión presente en la zona de estudio y por la inversión tectónica y una extensión de 100 m ocasionada por el período de extensión.

En ángulo de buzamiento de los estratos va aumentando a medida que se profundiza desde 0° para la Discordancia del Eoceno y para la Fm. Misoa Miembro B-8, de 1° para la Fm. Misoa Miembro C-2 y para el Horizonte Sísmico y de 2° para la Discordancia del Paleoceno.

A continuación desde las figuras 5.39 hasta 5.47 se presenta el balanceo de la sección geológica al sur (B-B').

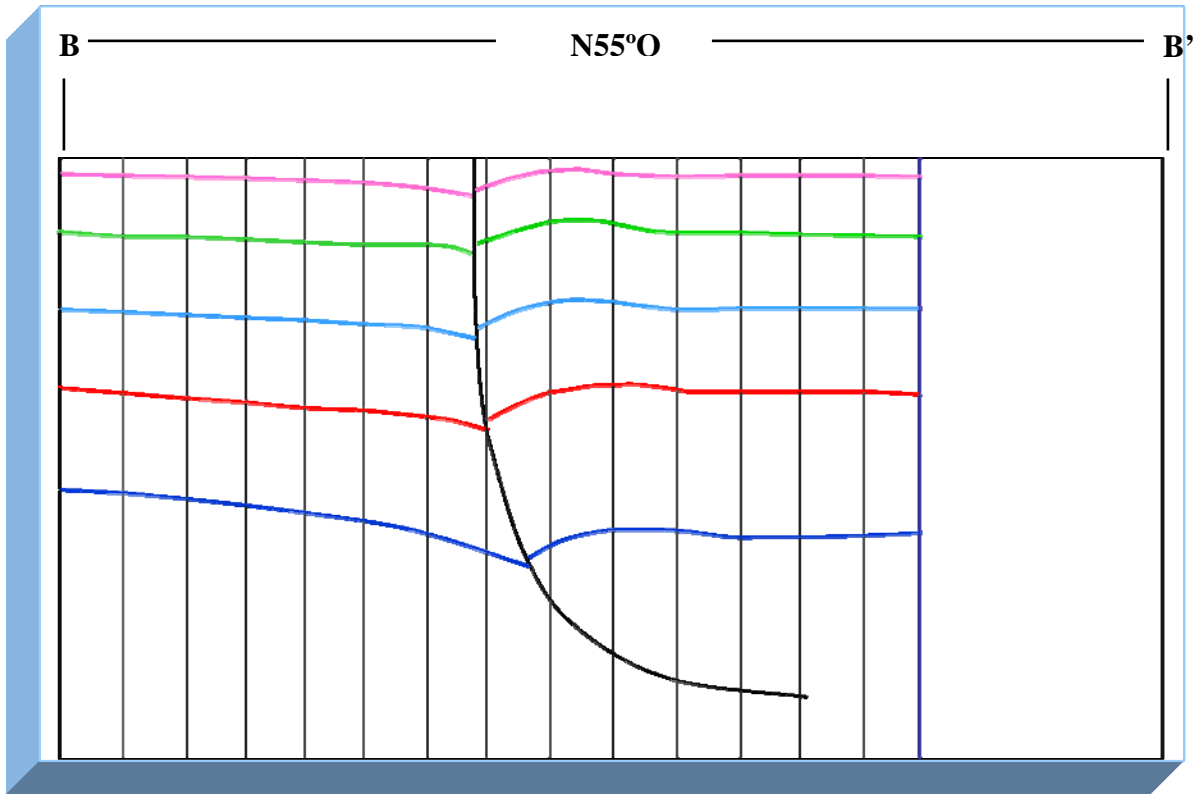


Figura 5.39. Sección geológica B-B' con una extensión de 19,5 km.

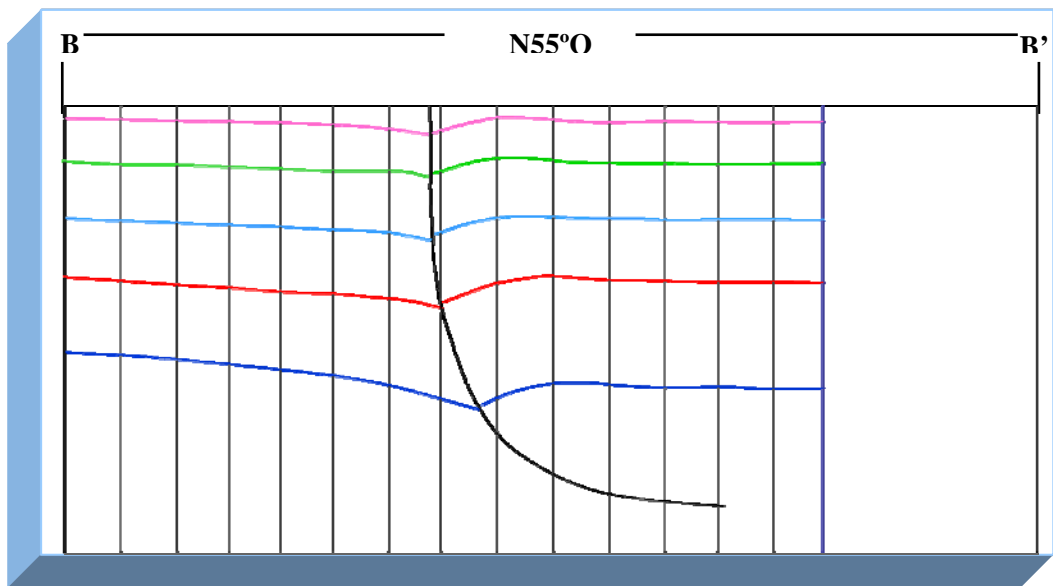


Figura 5.40. Regresión de la inversión tectónica de la Discordancia del Eoceno de la sección B-B'.

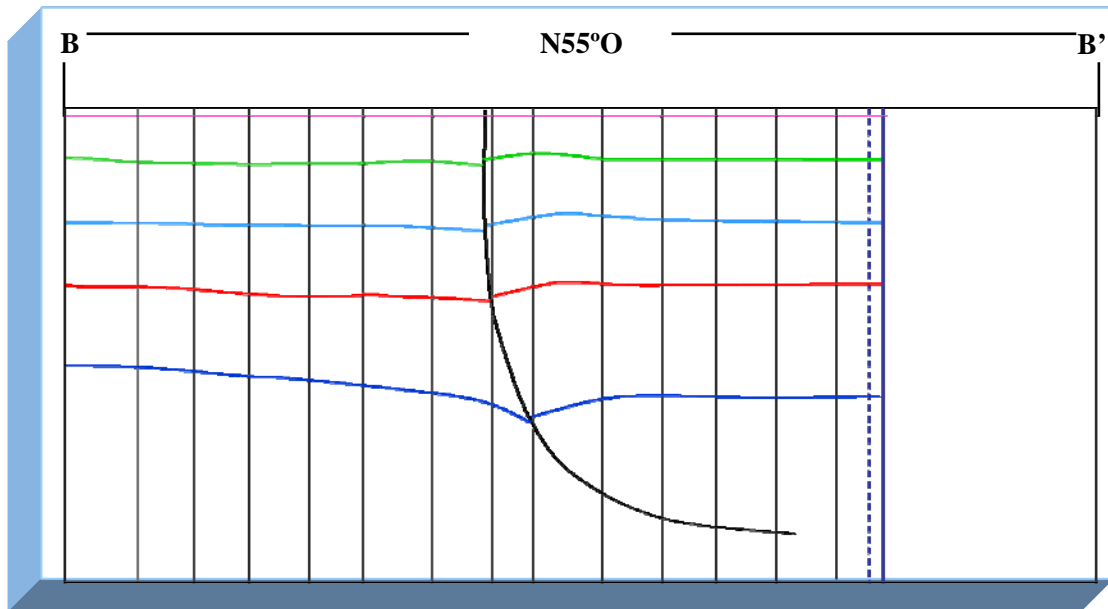


Figura 5.41. Horizontalización de la Discordancia del Eoceno de la sección B-B'.

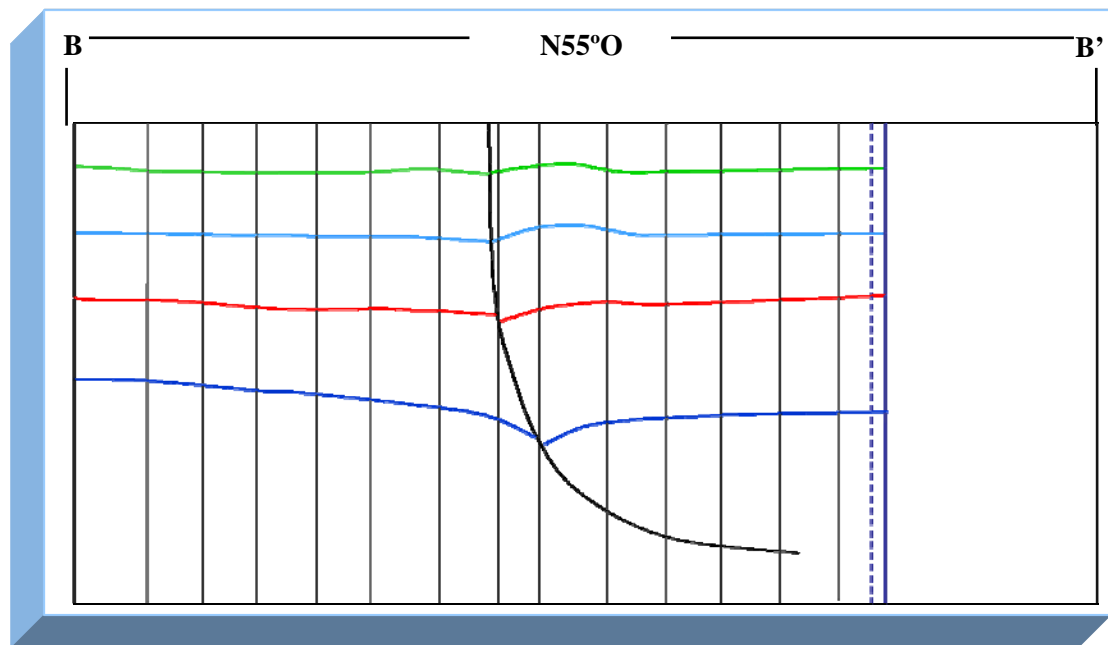


Figura 5.42. Regresión de la inversión tectónica del Miembro B8 de la sección B-B'.

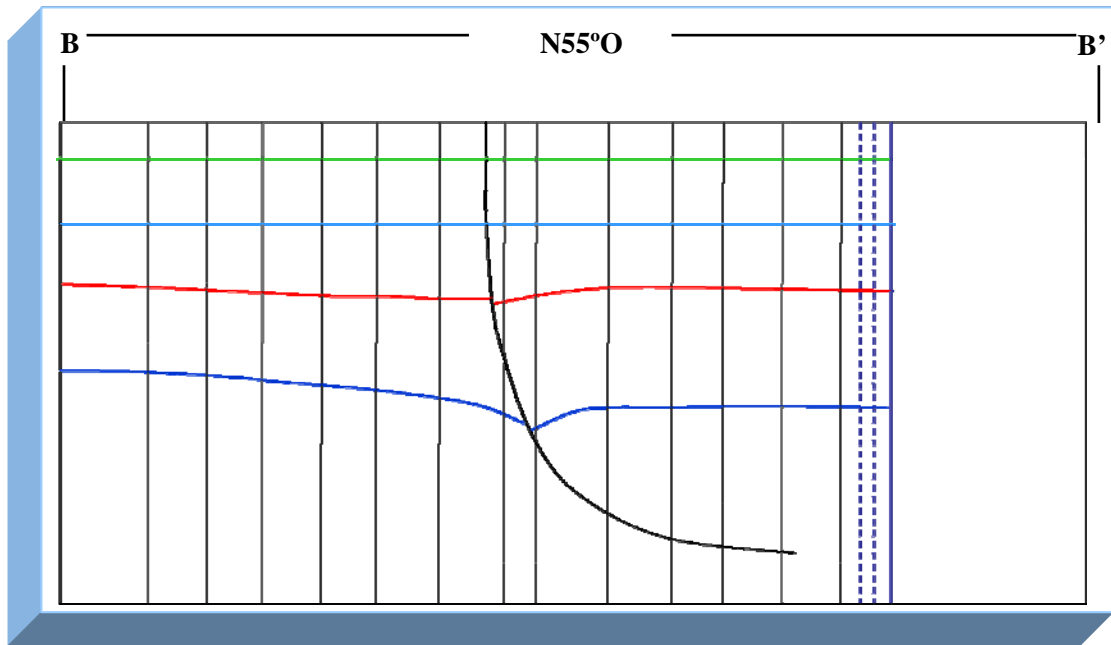


Figura 5.43. Horizontalización del Miembro B8 y del Miembro C2 de la sección B-B'.

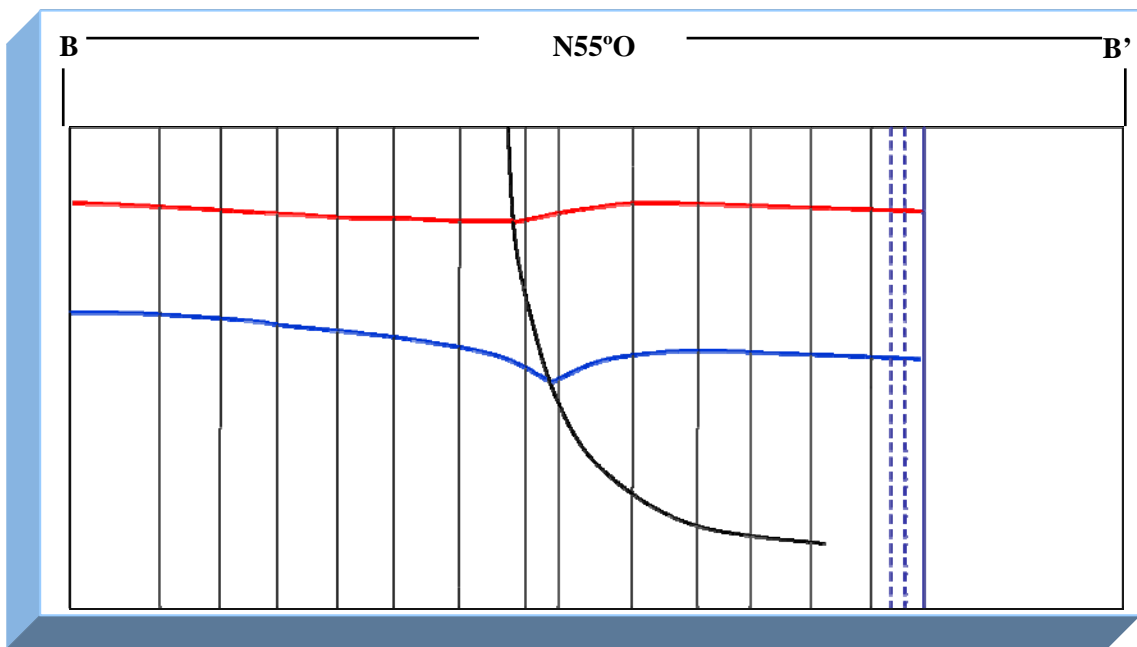


Figura 5.44. Regresión del movimiento normal del Horizonte Sísmico de la sección B-B'.

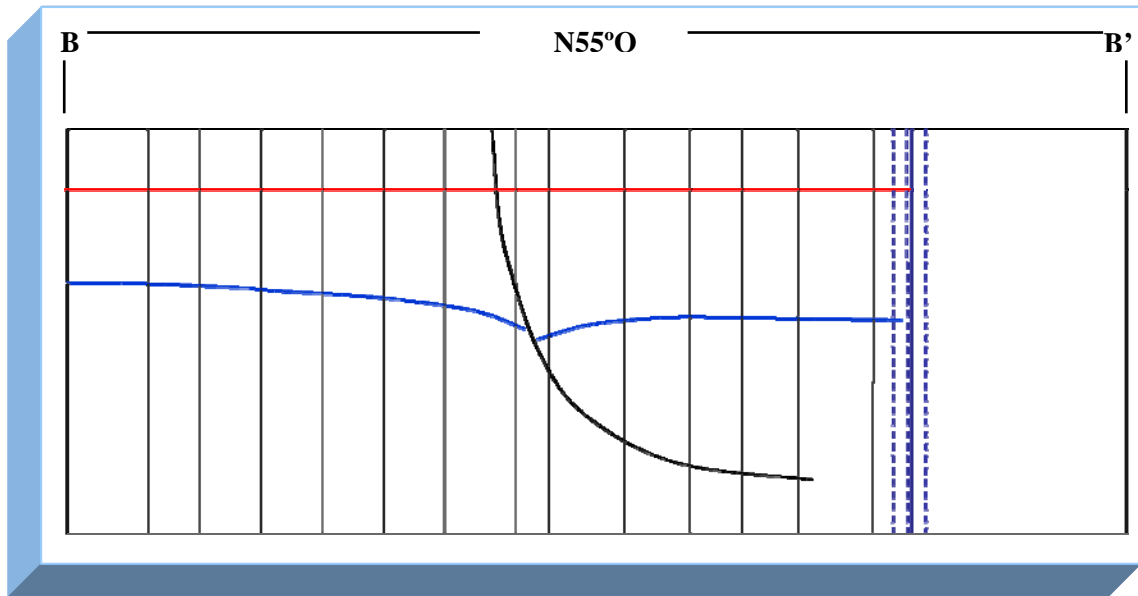


Figura 5.45. Horizontalización del Horizonte Sísmico de la sección B-B'.

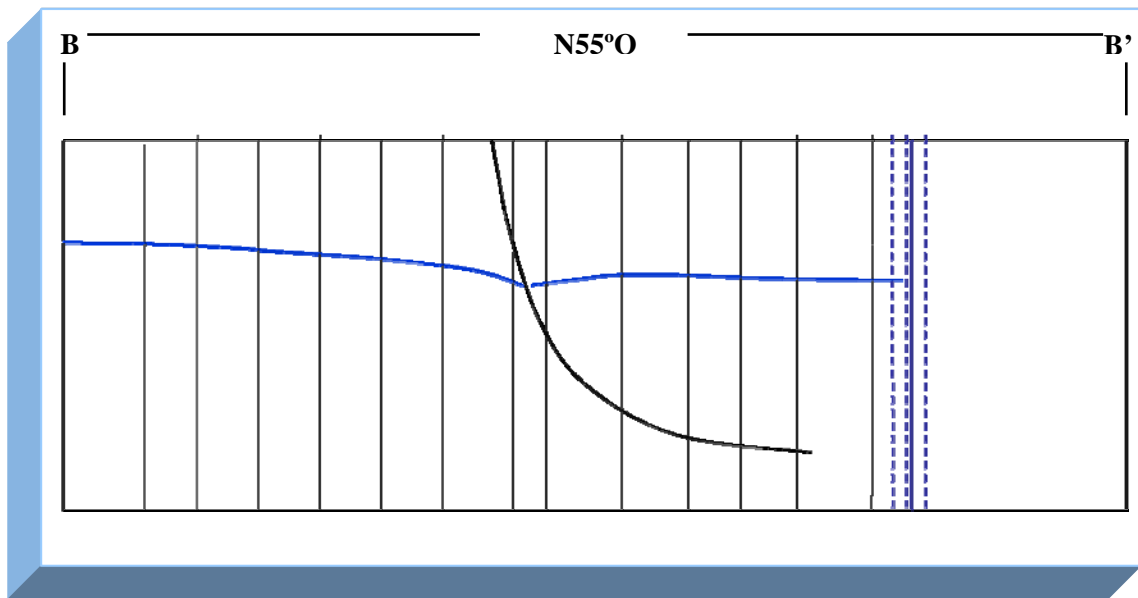


Figura 5.46. Regresión del movimiento normal de la Discordancia del Paleoceno de la sección B-B'.

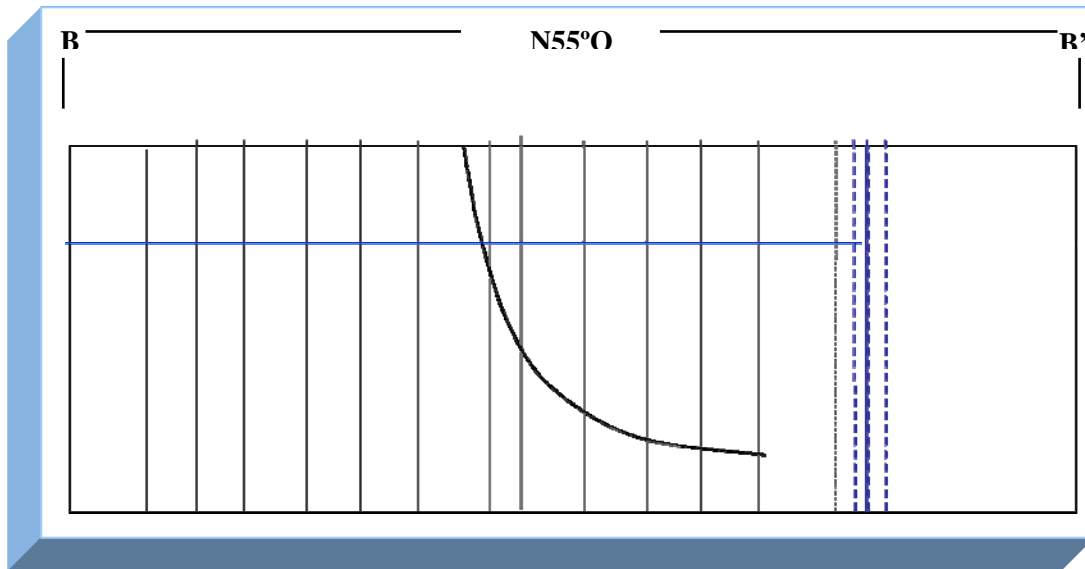


Figura 5.47. Horizontalización de la Discordancia del Paleoceno de la sección B-B'.

Esta sección presenta un acortamiento de 450 m lo cual representa un 3% de su longitud ocasionado por la compresión presente en la zona de estudio y por la inversión tectónica y una extensión de 100m ocasionada por el período de extensión.

En ángulo de buzamiento de los estratos va aumentando a medida que se profundiza desde 0° para la Discordancia del Eoceno, para la Fm. Misoa Miembro B-8 y Miembro C-2, de 1° para el Horizonte Sísmico y de 2° para la Discordancia del Paleoceno.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se observa que la resolución promedio por intervalo es: Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B-8 de 76 pies; Fm. Misoa Miembro B-8-Fm. Misoa Miembro C-2 de 89 pies; Fm. Misoa Miembro C-2-Horizonte Sísmico de 123 pies; Horizonte Sísmico-Discordancia del Paleoceno 146 pies. (Tabla 5.1)

El modelo de velocidad se encuentra bien amarrado desde la Discordancia del Eoceno hasta la Fm. Misoa Miembro C-2, debido a que todo los pozos reales llegan hasta esta profundidad, mientras que para el Horizonte Sísmico y Discordancia del Paleoceno solo 3 pozos reales alcanzan esta profundidad y distribuidos dos en el este y uno en el norte de la zona de estudio, lo cual contribuyó para la elaboración de los mapas de profundidad de la Discordancia del Eoceno, Fm. Misoa Miembro B-8 y Miembro C-2 (figuras 5.4, 5.6, y 5.8 respectivamente). Mientras que para el Horizonte Sísmico y la discordancia del Paleoceno (figuras 5.11 y 5.14 respectivamente) se utilizaron mapas de velocidades generados originalmente a través de los mapas de tiempo y de profundidad obtenidos por el modelo de velocidad (anexo E).

Para la edición de los mapas de velocidad se tomó en cuenta la tendencia de los mapas en tiempo y se editaron las velocidades de los pozos ficticios correlacionando sus tiempos con los de los pozos reales cercanos.

En los mapas de la Discordancia del Eoceno, Fm Misoa Miembro B-8 y Miembro C-2 (figuras 5.4, 5.6 y 5.8 respectivamente), se observa menores valores hacia el noreste y amentando hacia el suroeste, mostrando un buzamiento de los estratos hacia el suroeste de la zona de estudio, de igual forma se observa mayores espesores de los estratos hacia el norte (anexo B).

Los mapas del Horizonte Sísmico (figura 5.11) y de la Discordancia del Paleoceno (figura 5.14) presentan igualmente un buzamiento de las capas hacia el suroeste. De igual forma se observa la presencia de un roll over en el bloque levantado de la falla principal, el cual se origina por consecuencia del fallamiento normal.

El buzamiento de los estratos observados en las 5 superficies interpretadas hacia el suroeste se correlaciona con la geología regional dado que la zona de estudio se encuentra en la parte norte y levantada de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

Las fallas lítricas con orientación noreste-suroeste observadas en la zona de estudio se correlacionan con el período de extensión entre el Paleoceno y el Eoceno Medio, produciendo mayores espesores al este de las fallas. Durante el Eoceno Medio se observa un período de calma representado por sedimentación y de subsidencia observado en la Fm. Misoa desde el Miembro C-2 hasta el Miembro B-8.

Para el Eoceno Tardío-Oligoceno el levantamiento de la Sierra de Perijá ocasionado por el emplazamiento de las Napas de Lara produce el levantamiento de la cuenca generando un período de erosión (Discordancia del Eoceno). Posteriormente en el Mioceno el levantamiento de la Cordillera de la Andes produce un período de inversión afectando a la falla principal reactivándola inversa.

La falla principal posee mayor deformación en la parte sur que en la norte, esto se puede correlacionar con la geología regional de la cuenca y atribuirlo a una rotación horario colocando como pivote (punto de rotación) el extremo norte de la falla.

De igual forma se observan fallas normales en el Post-Eoceno hacia el este de la zona de estudio, ocasionadas por acomodamiento de los estratos debido a la inversión tectónica.

Las secciones geológicas balanceadas una al norte (A-A') con una extensión de 22,5 km (figura 5.15) y otra al sur (B-B') con una extensión de 19,5 km (figura 5.23) poseen un acortamiento de 2% (400m) y de 3% (450m) respectivamente lo cual concuerda con la rotación horaria produciendo mayor deformación hacia el sur de la falla. La poca deformación de la zona de estudio se observa por el bajo porcentaje de acortamiento que presentan ambas secciones geológicas.

Ambas secciones geológicas en el proceso de extensión del Paleoceno–Eoceno Medio presentan una distensión de 100 m, dado que para ese momento la cuenca solo presentaba extensión y ningún tipo de rotación.

En la sección geológica al norte la falla principal no corta a la Discordancia del Eoceno, mientras que la Discordancia del Paleoceno se encuentra afectada tanto por la falla principal como por una segunda falla lístrica al norte.

La Discordancia del Paleoceno se ve afectada por el período de extensión en mayor grado que el horizonte sísmico dado que se observan saltos de falla de 75 m y de 50 m (aproximadamente) respectivamente antes del proceso de inversión. Tanto el Miembro C-2 como el Miembro B-8 de la Fm. Misoa se ven afectados de igual forma por proceso de inversión de la falla principal dado que presentan el mismo salto de falla de 60m aproximadamente.

En la sección geológica al sur (B-B') la falla principal si corta a la Discordancia del Eoceno, mientras que la Discordancia del Paleoceno solo se encuentra afectada por la falla principal. Por lo tanto se inicia el balanceo regresando la inversión de la Discordancia del Eoceno observando que los estratos infrayacentes todavía presentan movimiento inverso y posteriormente se procede a la horizontalización de la discordancia.

Se observa que igual que en la sección al norte la Discordancia del Paleoceno estuvo mas tiempo afectada por el proceso de extensión que el horizonte sísmico dado que presenta mayor salto de falla (75m y 50m respectivamente). Mientras el Miembro B-8 y C-2 se vieron afectados por el proceso de inversión de igual forma.

El ángulo de buzamiento de los estratos va aumentando a medida que se profundiza desde 0° hasta 2°. Se observa que la sección al norte presenta aumentó de buzamiento en la Fm. Misoa Miembro C-2 (1°) mientras que para la sección al sur este estrato sigue presentando 0° de buzamiento esto se puede atribuir a que al momento de despositación la cuenca se encontraba buzando hacia el norte.

Por medio del balanceo de las secciones geológicas y de su correlación con la geología regional de la Cuenca del Lago de Maracaibo se puede aceptar la interpretación sísmica realizada.

CONCLUSION

Se observa que la resolución sísmica presenta una disminución a medida que se profundiza, con valores promedios desde 76 pies para el intervalo de la Discordancia del Eoceno-Fm. Misoa Miembro B-8, hasta 146 pies para el intervalo Horizonte Sísmico-Discordancia del Paleoceno.

Se observa que en la zona de estudio los estratos son paralelos con buzamiento hacia el suroeste lo cual correlaciona con la geología regional dado que el área se encuentra en la parte norte y levantada de la cuenca del Lago de Maracaibo. Los estratos del Eoceno presentan engrosamiento hacia el norte de la cuenca.

Entre Paleoceno y Eoceno Medio se observa un período de extensión representado por el sistema de fallas lítricas de orientación noreste-suroeste presentes en la zona de estudio, afectando previo a la sedimentación de la Fm. Misoa Miembro C-2. Para el Horizonte Sísmico y la Discordancia del Paleoceno se observa en el bloque levantado de la falla principal, la presencia de un roll over el cual se origina por consecuencia del proceso de extensión. Para el Eoceno Medio se tiene un período de sedimentación y subsidencia con relativa calma observado en la Fm. Misoa desde el Miembro C-2 hasta el Miembro B-8.

El levantamiento de la Sierra de Perijá en el Eoceno Tardío-Oligoceno producto del emplazamiento de las Napas de Lara origina el levantamiento de la cuenca produciendo un alto y generando un período de erosión caracterizado por la Discordancia del Eoceno. En el Mioceno se produce un período de inversión tectónica a causa del levantamiento de la Cordillera de los Andes reactivando la falla principal de forma inversa. A consecuencia de la inversión se generan fallas normales en Post-Eoceno hacia el este de la zona

Se observa que la falla principal posee mayor deformación en el sur que en el norte demostrado por medio del balanceo ya que la sección geológica del sur presento un acortamiento de 3% mientras que la sección al norte solo de 2%, esto se puede atribuir a un movimiento de rotación horario colocando como pivote el extremo norte de la falla principal. Esta rotación en sentido horario se correlaciona con la geología regional ya que se observa en la cuenca del Lago del Maracaibo el mismo movimiento de rotación.

La coordinación de PDVSA Exploración y Producción Occidente cuenta actualmente con cinco mapas estructurales en tiempo y cinco mapas estructurales en profundidad de la zona de estudio, así como de nueve sismogramas sintéticos adicionales que pueden ser utilizados para la definición de un levantamiento 3D en la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

Se sugiere para un mejor amarre del modelo de velocidad utilizar las velocidades de procesamiento si están disponibles.

Se recomienda la interpretación de sísmica 3D existente en la zona de estudio, debido a que puede poseer mejor resolución y se puede tener un mejor control de las estructuras.

Para la elaboración del balanceo de secciones geológicas se sugiere la utilización de programas especializados como 2D move (Midland Valley) o GEOSEC (Paradigm) que toman en cuenta el factor de descompactación de los sedimentos.

Continuar con interpretaciones de las áreas colindantes a la zona de estudio si presentan información sísmica para darle continuidad al modelo estructural.

Realizar un estudio de atributos sísmico para la búsqueda de posibles trampas estratigráficas en la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ARMINIO, J.F. ZUBIZARRETA, J., GONZALEZ, G., (1994), **Evolution tectonica y habitat de hidrocarburos del área Lama Sur, Lago de Maracaibo, VII congreso Venezolano de Geofísica.** Caracas, SOVG. p384-392´

AUDEMAR F. (1991), **Tectonics of western Venezuela.** Rice University (Houston). Ph D. Tesis Inédito.

BARTOK, P., (1993), **Pre-breakup geology of the Gulf of Mexico-Caribbean: Its relation to Triassic and Jurassic rift systems of the region.** Tectonics, 12: 441-459. Gulf of Mexico, Caribbean, tectonic.

BRONDJIK, J. F., (1967), **Contributions of the AVGMP Maracaibo Basin Eocene Nomenclature Committee. II: The Misoa and Trujillo Formations.** Asoc. Venez. Geol., Min., y Pet., Bol. Inform., 10(1): 3-19.

BELTRAN, C., (1993), **Mapa Neotectónico de Venezuela,** Funvises Departamento de Ciencias de la Tierra. Caracas Venezuela.

DENGO, C.A. and COVEY, M.C. (1993), **Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics.** AAPG Bulletin 77: 1315-1337.

Geos-PDVSA (2004), **Estilos Estructurales.** Inédito.

GIBBS, A. D. (1984), **Structural evolutions of extensional basin margins.** J. Geol. Soc. Lond 141, Pág 609-620.

GONZÁLEZ DE JUANA, C; J.M. ITURRALDE; X. PICARD, (1980), **Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas**. Caracas, Ed Foninves, 2 tomos 1021 p.

GUEVARA, M., (2004), **Interpretación sísmica 3D en el Eoceno del Campo Ambrosio, en la cuenca del Lago de Maracaibo, Estado Zulia**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

GHOSH, S. (1995), **Síntesis Geológica, marco secuencial y perspectiva exploratorias del Eoceno de la Cuenca de Maracaibo**. Caracas, PDVSA, 239 p

KEY, C. E., (1960), **Estratigrafía del subsuelo de Alturitas**. Cong. Geol. Venez. III, Caracas, Mem., 3: 511-545

KISER, G. D., (1997), **Comentarios enviados al CIEN**, Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura de PDVSA.

HARDAGE, B. A., 1983, **Vertical seismic profiling-principles (1st ed.)**, Amsterdam, Geophysical Press, 470 p.

HEDBERG, H. D. and SASS, L. C., (1937), **Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo basin**, Bol. Geol. y Min. (Venezuela), 1(2-4): 73-112. (Eng. ed.)

LEÓN R., (1975), **Intervalos productores del Cretácico Campo Urdaneta Este, Lago de Maracaibo**. Primeras Jornadas Venezolanas de Geología, Minería y Petróleo. Maracaibo. Preimpreso.

LUGO, J., (1991), **Cretaceous to neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin, Venezuela.** Universidad Texas Univ., Austin, Grado académico: Ph D. 238 p- Tesis Inédito.

MANGER, G. E., (1938), **Notas adicionales sobre la estratigrafía de las formaciones del Terciario Superior de la región costanera del Distrito Bolívar, Estado Zulia.** *Bol. Geol. y Min.*, Caracas, 2(2-4): 57-81.

MAZE, W. B., (1984), **Jurassic La Quinta formation in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks.** *Geol. Soc. Am. Mem.* 162, p. 263-282.

MC CLAY & ELLIS (1987), **Geometries of extensional fault systems in model experiments.** *Geology* 15, Pág. 341-344.

OSTOS, M. (1990), **Tectonic evolution of the south-central Caribbean based on geochemical data.** Universidad: Rice University, Houston, TX, United States. Grado académico: Doctoral, 459p. Inédito.

PARRA, O. (1999), **Estudio integrado de los yacimientos presentes en la formación Misoa (Eoceno inferior) en el área VLA 243-245, Bloque I, Campo Lama.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Departamento de Geología. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 137 p.

SAVIAN, V., (1993), **Geología del Cretácico de la Cuenca de Maracaibo.** Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, 191 p., Mapas, Figuras, Anexos.

SCHLUMBERGER (1984), **Nuevas aplicaciones.** p IV-26

SCHUBERT, C.; R. S. SIFONTES; V. E. PADRÓN; J. R. VÉLEZ , J. R. y P. A. LOAIZA, (1979), **Formación La Quinta (Jurásico), andes merideños: geología de la sección tipo**. Acta Cient. Venez., 30: 42-55.

SCHUBERT, C., (1986), **Stratigraphy of the Jurassic La Quinta Formation, Mérida Andes, Venezuela: type sections** Z. Deut. Geol. Ges., 137: 391-411.

SUTTON, F. A., (1946), **Geology of the Maracaibo basin, Venezuela**, Am. Assoc. Petrol. Geol.

PDVSA, Intevep (2004), **Código Geológico de Venezuela**. (Artículo en Línea). Disponible www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm, (Consultado 3 de Noviembre de 2004).

USTA, R., (2002), **Interpretación sísmica estructural 2D del Campo Tía Juana y Lagunillas, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Estado Zulia**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

VAN ANDEL, T. H., 1958. **Origin and classification of cretaceous, Paleocene and Eocene Sandstones of Western Venezuela**, *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Bull., 42(4).

ZAMBRANO, G; MARTINEZ M (2004), **Caracterización del área de Carito a nivel del terciario mediante la integración de atributos sísmicos y parámetros petrofísicos**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

WERNICKE, B. & BURCHFIEL, B. C. (1983), **Modes of extensional tectonics**. J. Struct. Geology 4, Pág. 105-115.

<http://www.a-venezuela.com/mapas/>, Consultada el 02 de Noviembre de 2.004.

ANEXO A

A continuación se presenta una tabla con los valores de tiempo y profundidad menor y mayor para cada horizonte interpretado para el cálculo de la resolución vertical para las líneas 4, 14-2, 16, 26, en los intervalos : 0-3000ms; Discordancia del Eoceno-Miembro B-8; Miembro B-8-Miembro C-2; Miembro C-2-Horizonte Sísmico; Horizonte Sísmico-Discordancia del Paleoceno.

Tabla A.1. Tiempos y Profundidades menor y mayor para cada horizonte interpretado y la velocidad interválica.

Línea 04					
Superior	Tiempo Inicial (ms)	Tiempo Final (ms)	Prof Inicial (pies)	Prof Final (pies)	Velocidad Interválica (pies/s)
0-3000mseg	0	3000	0	15706	10470,67
Eoceno	132	290	421	714	7660,38
Miembro B8	317	503	1127	1842	9623,05
Miembro C2	775	959	3615	4216	12278,04
Horizonte Sísmico	1463	1631	7634	8870	10327,52
Paleoceno	2187	2495	11007	12963	
Línea 14-2					
Superior	Tiempo Inicial (ms)	Tiempo Final (ms)	Prof Inicial (pies)	Prof Final (pies)	Velocidad Interválica (pies/s)
0-3000mseg	0	3000	0	16644	11096,00
Eoceno	200	464	601	1497	9253,05
Miembro B8	514	856	2068	3636	9851,69
Miembro C2	1096	1404	5182	6452	12106,89
Horizonte Sísmico	1744	1938	9061	10279	11618,75
Paleoceno	2526	2704	12949	14638	

Línea 16					
Superior	Tiempo Inicial (ms)	Tiempo Final (ms)	Prof Inicial (pies)	Prof Final (pies)	Velocidad Interválica (pies/s)
0-3000mseg	0	3000	0	16325	10883,33
Eoceno	229	493	610	1630	10767,24
Miembro B8	539	925	2043	4357	10863,04
Miembro C2	1051	1459	4948	7040	11831,79
Horizonte Sismico	1635	2026	8010	10716	12188,51
Paleoceno	2325	2749	10077	14799	
Línea 26					
Superior	Tiempo Inicial (ms)	Tiempo Final (ms)	Prof Inicial (pies)	Prof Final (pies)	Velocidad Interválica (pies/s)
0-3000mseg	0	3000	0	16529	11019,33
Eoceno	557	684	1909	3025	11522,70
Miembro B8	1128	1328	4098	6351	14197,45
Miembro C2	1554	1756	5919	8556	16454,55
Horizonte Sismico	2132	2236	9173	11530	16857,61
Paleoceno	2564	2750	12735	14382	

En la tabla A.2, se presenta la frecuencia dominante para cada uno de los intervalos y el cálculo de la resolución vertical.

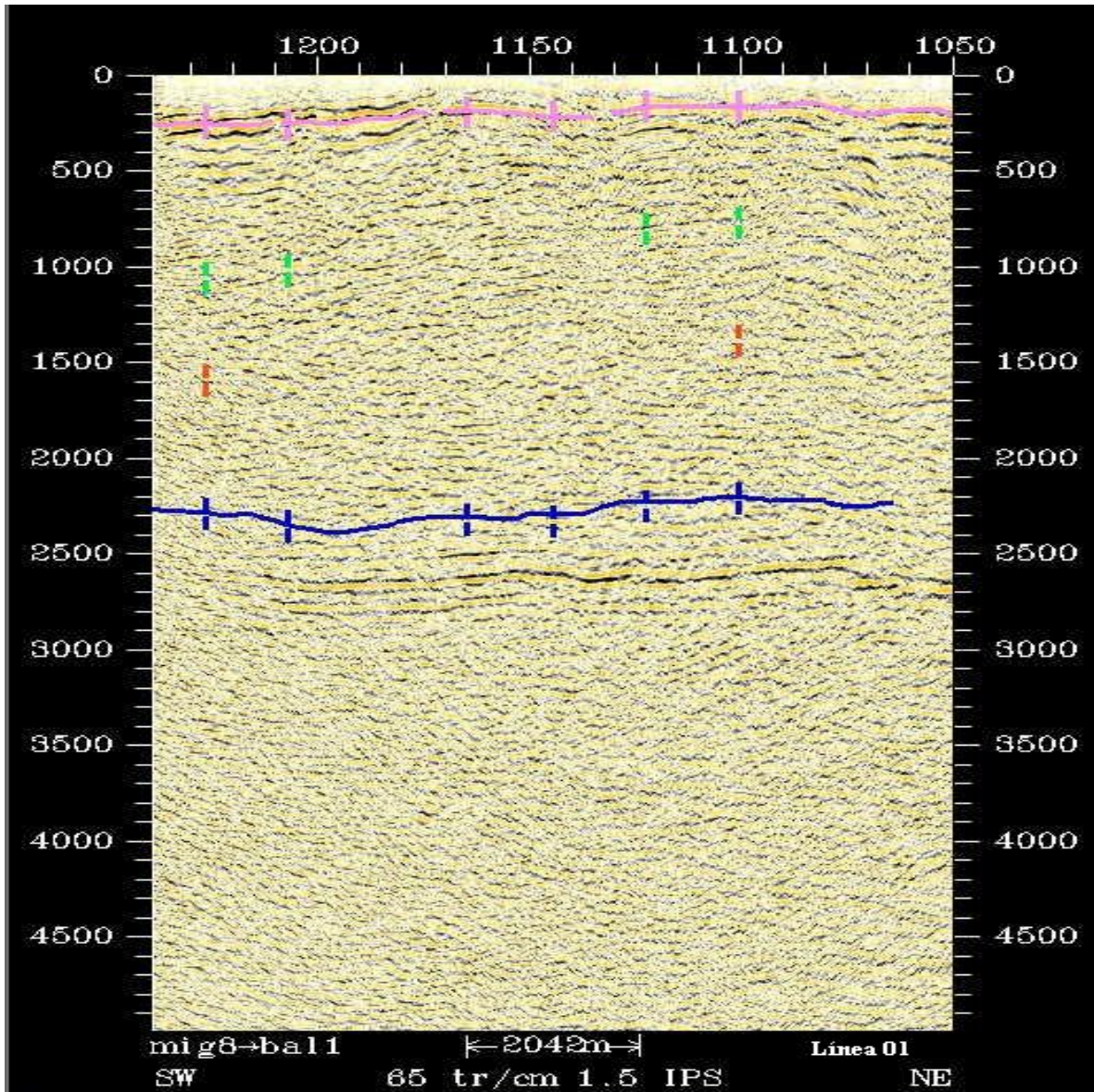
Línea 04			
Superior	Frecuencia (Hz)	Velocidad Interválica (pies/s)	Resolución Vertical (pies)
0-3000	30	10470,67	87,26
Eoceno-Miembro B8	30	7660,38	63,84
Miembro B8-Miembro C2	30	9623,05	80,19
Miembro C2-Horizonte sismico	30	12278,04	102,32
Horizonte sismico-Paleoceno	25	10327,52	103,28

Línea 14-2			
Superior	Frecuencia (Hz)	Velocidad Interválica (pies/s)	Resolución Vertical (pies)
0-3000	25	11096,00	110,96
Eoceno-Miembro B8	40	9253,05	57,83
Miembro B8-Miembro C2	35	9851,69	70,37
Miembro C2-Horizonte sísmico	22	12106,89	137,58
Horizonte sísmico-Paleoceno	15	11618,75	193,65
Línea 16			
Superior	Frecuencia (Hz)	Velocidad Interválica (pies/s)	Resolución Vertical (pies)
0-3000	25	10883,33	108,83
Eoceno-Miembro B8	30	10767,24	89,73
Miembro B8-Miembro C2	30	10863,04	90,53
Miembro C2-Horizonte sísmico	25	11831,79	118,32
Horizonte sísmico-Paleoceno	25	12188,51	121,89
Línea 26			
Superior	Frecuencia (Hz)	Velocidad Interválica (pies/s)	Resolución Vertical (pies)
0-3000	30	11019,33	91,83
Eoceno-Miembro B8	30	11522,70	96,02
Miembro B8-Miembro C2	30	14197,45	118,31
Miembro C2-Horizonte sísmico	30	16454,55	137,12
Horizonte sísmico-Paleoceno	25	16857,61	168,58

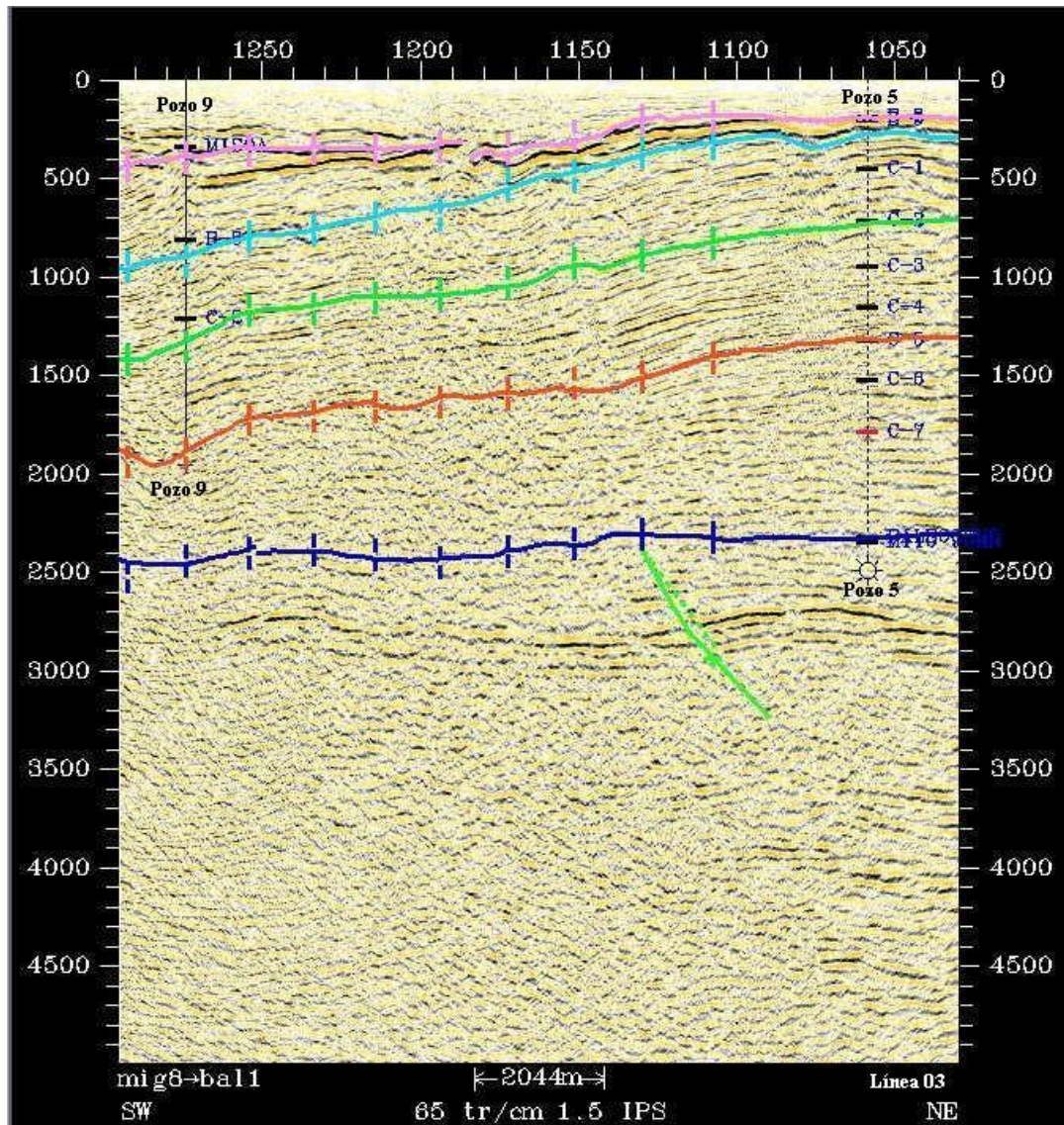
ANEXO B

A continuación se presentan las 23 líneas sísmicas interpretadas, empezando con las líneas que presentan rumbo SW-NE

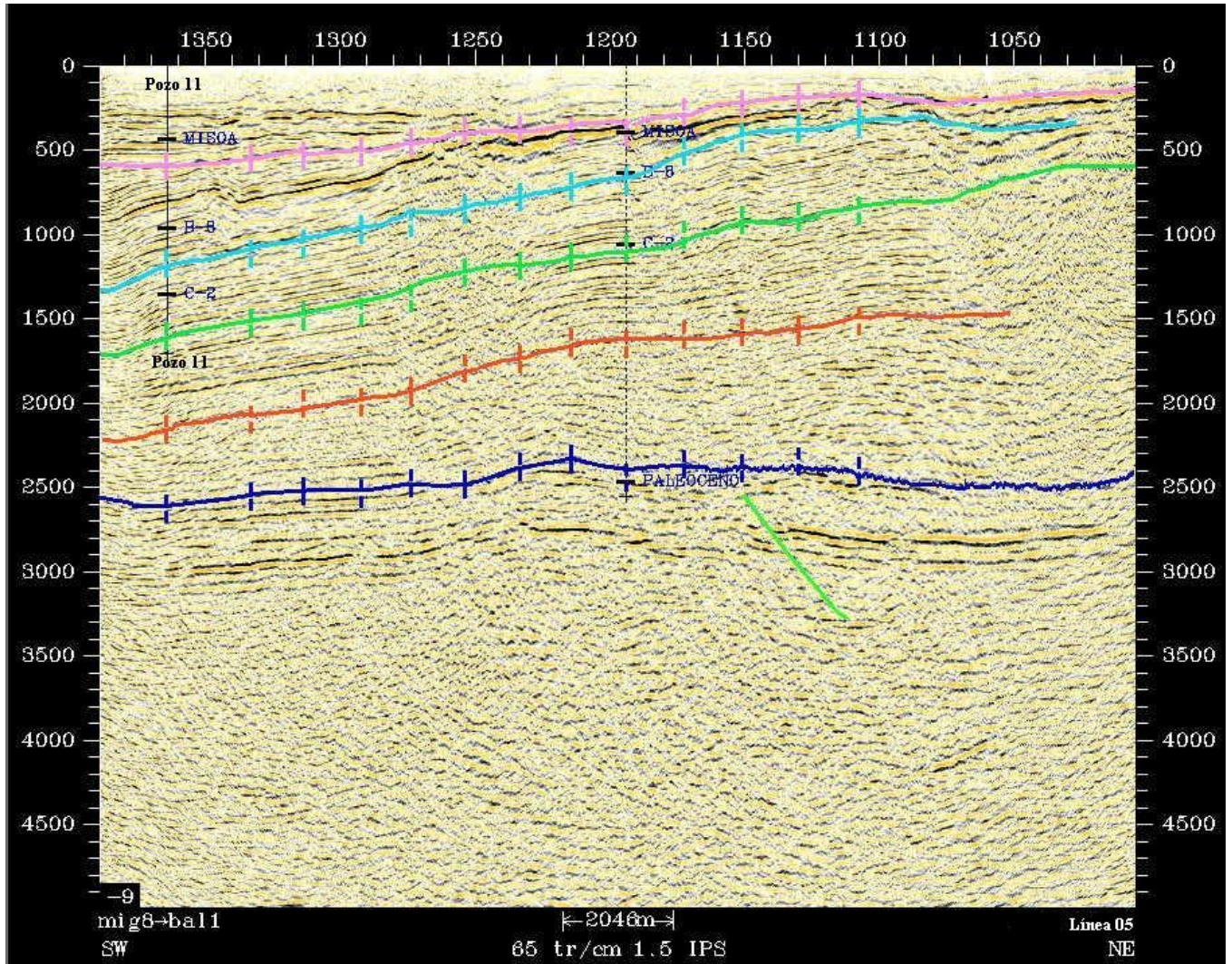
Línea 01



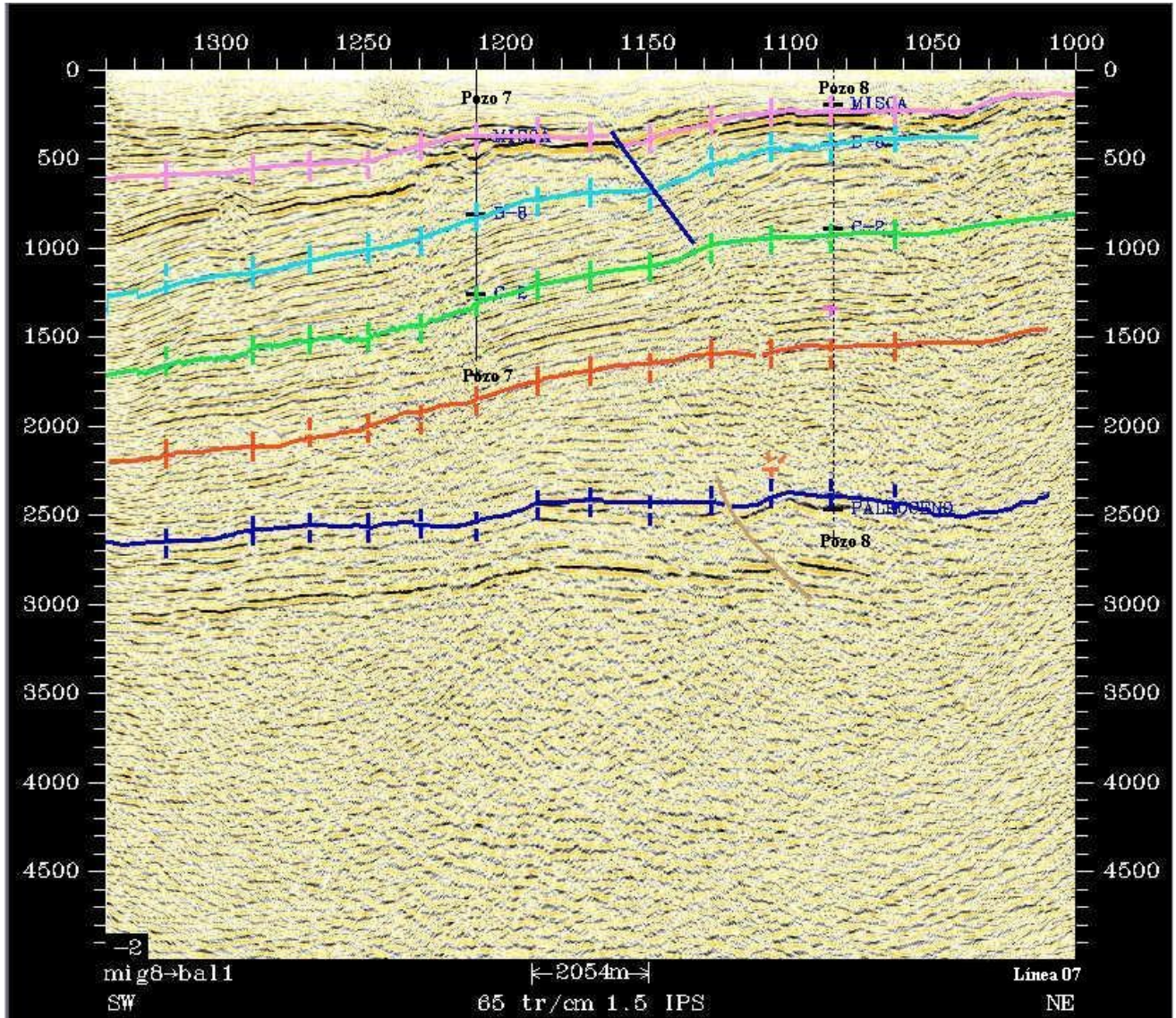
Línea 03



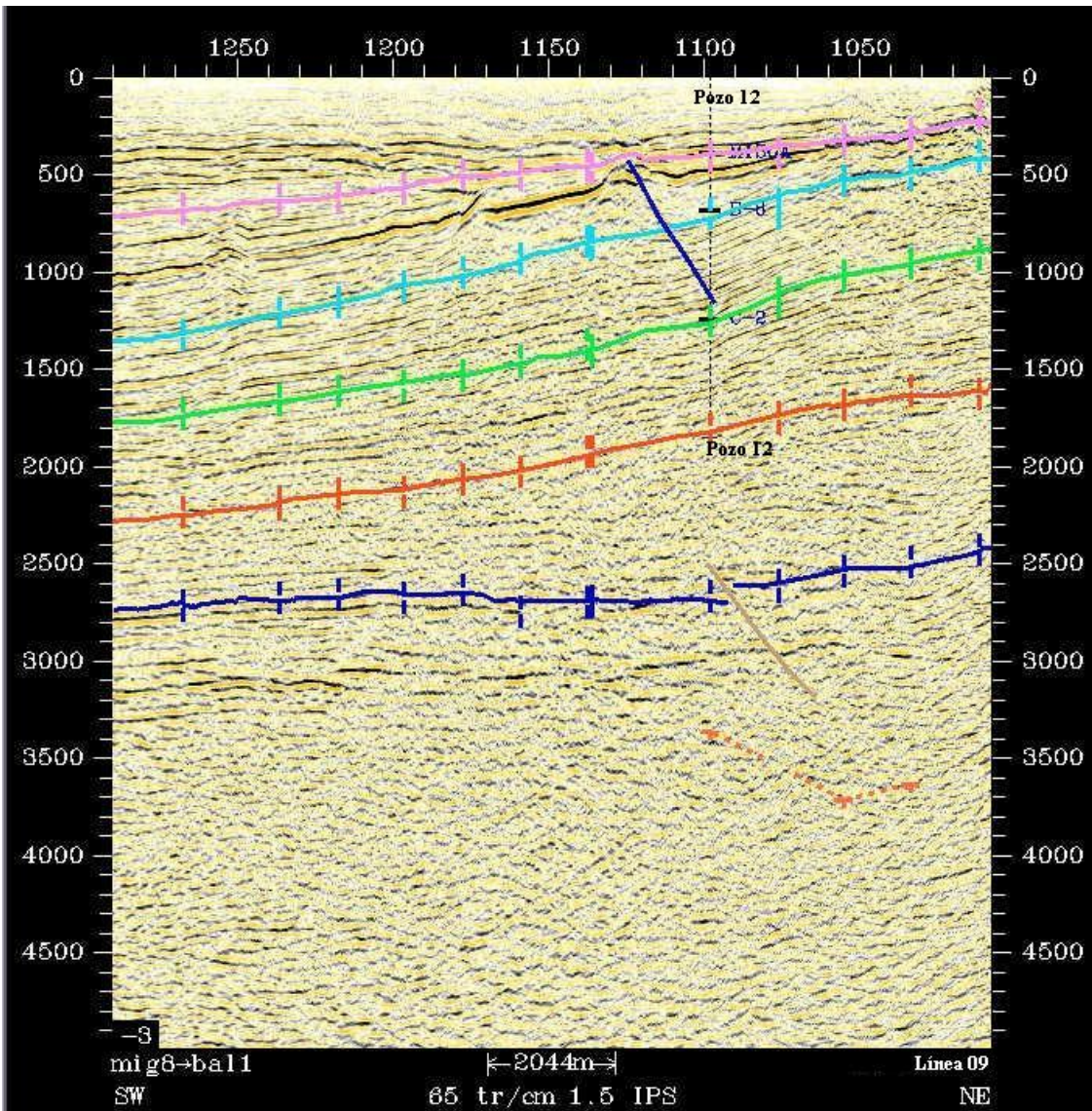
Línea 05



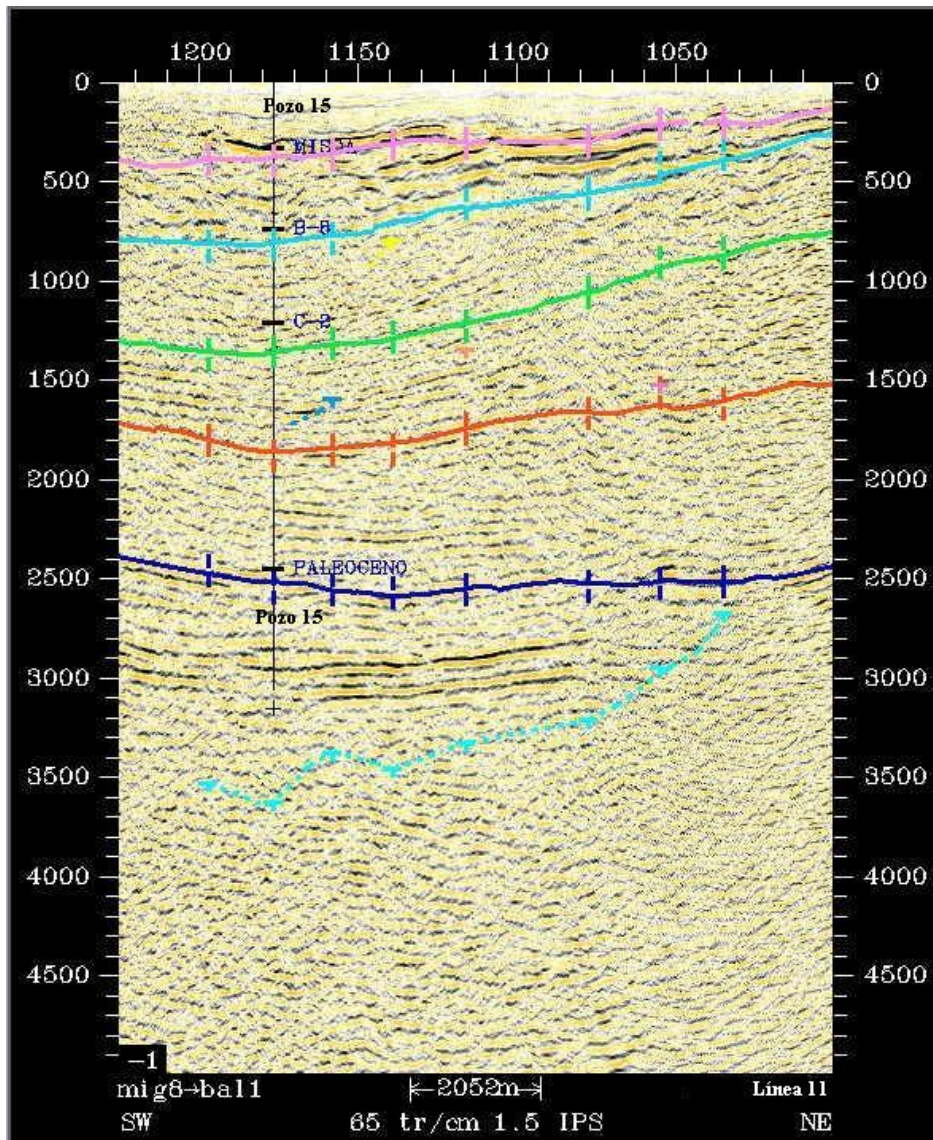
Línea 07



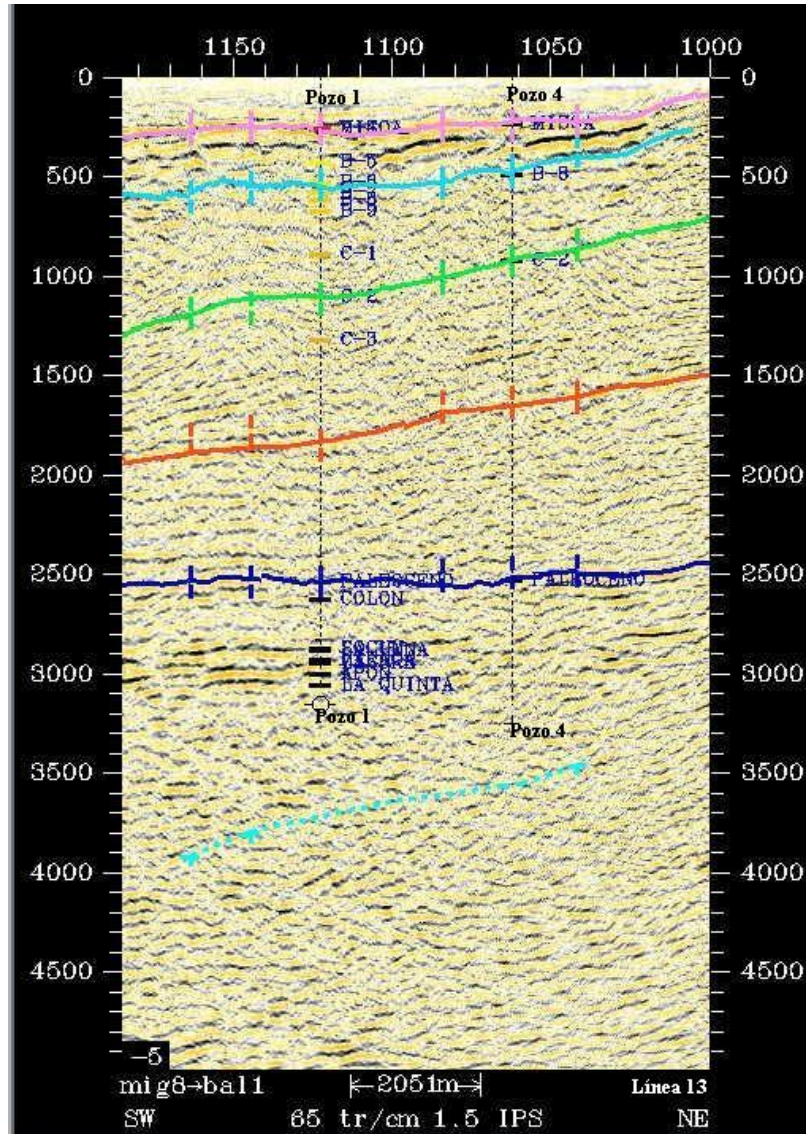
Línea 09



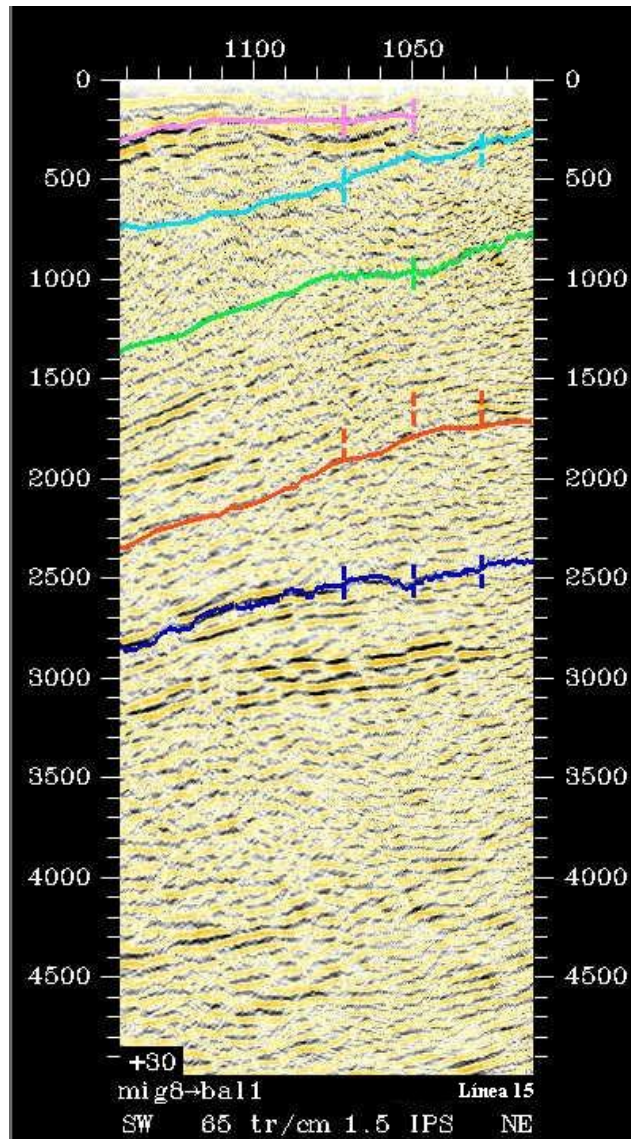
Línea 11



Línea 13

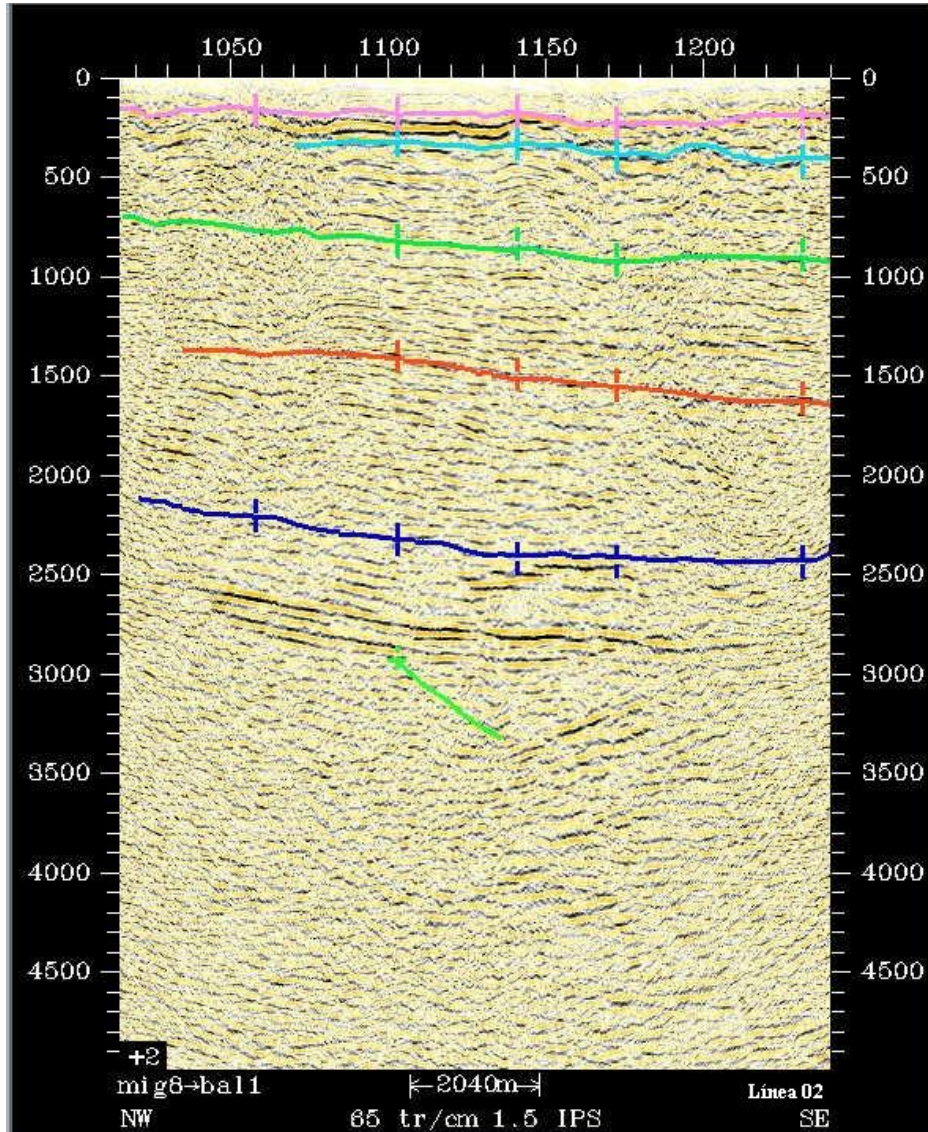


Línea 15

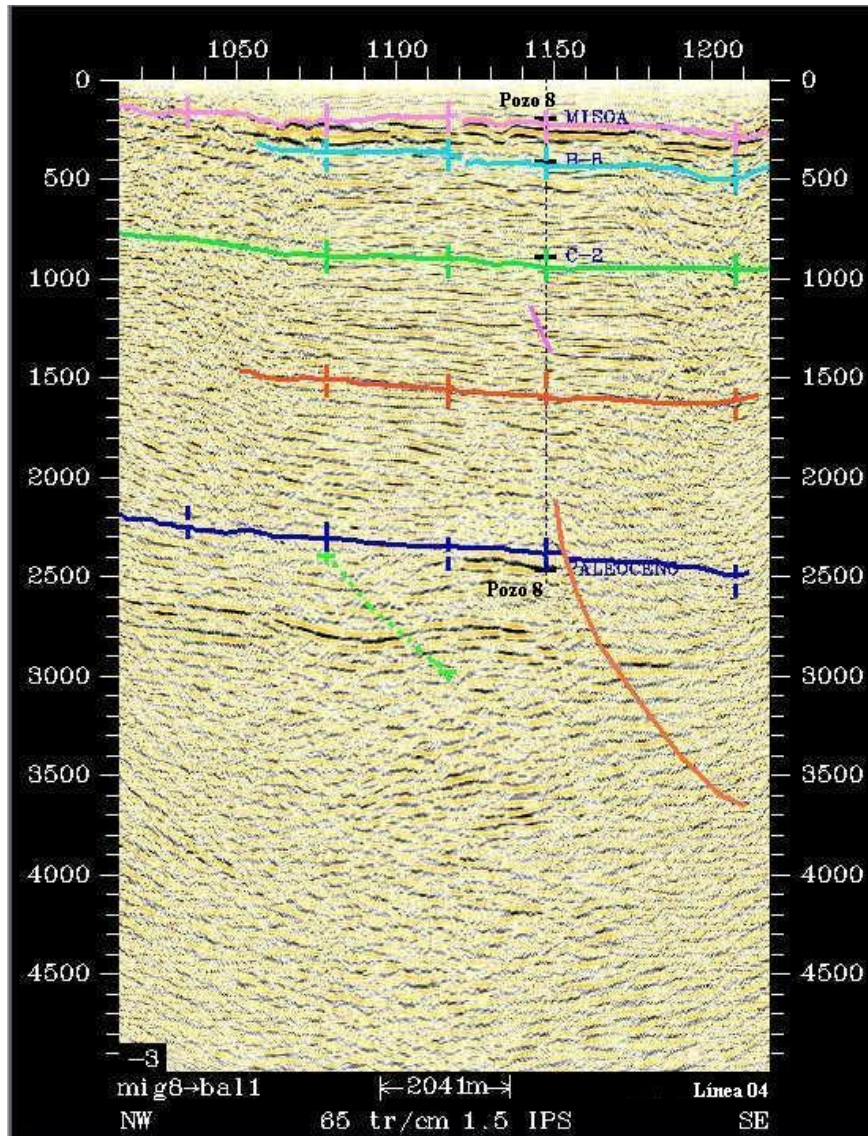


A continuación se presentan las líneas con orientación NW-SE

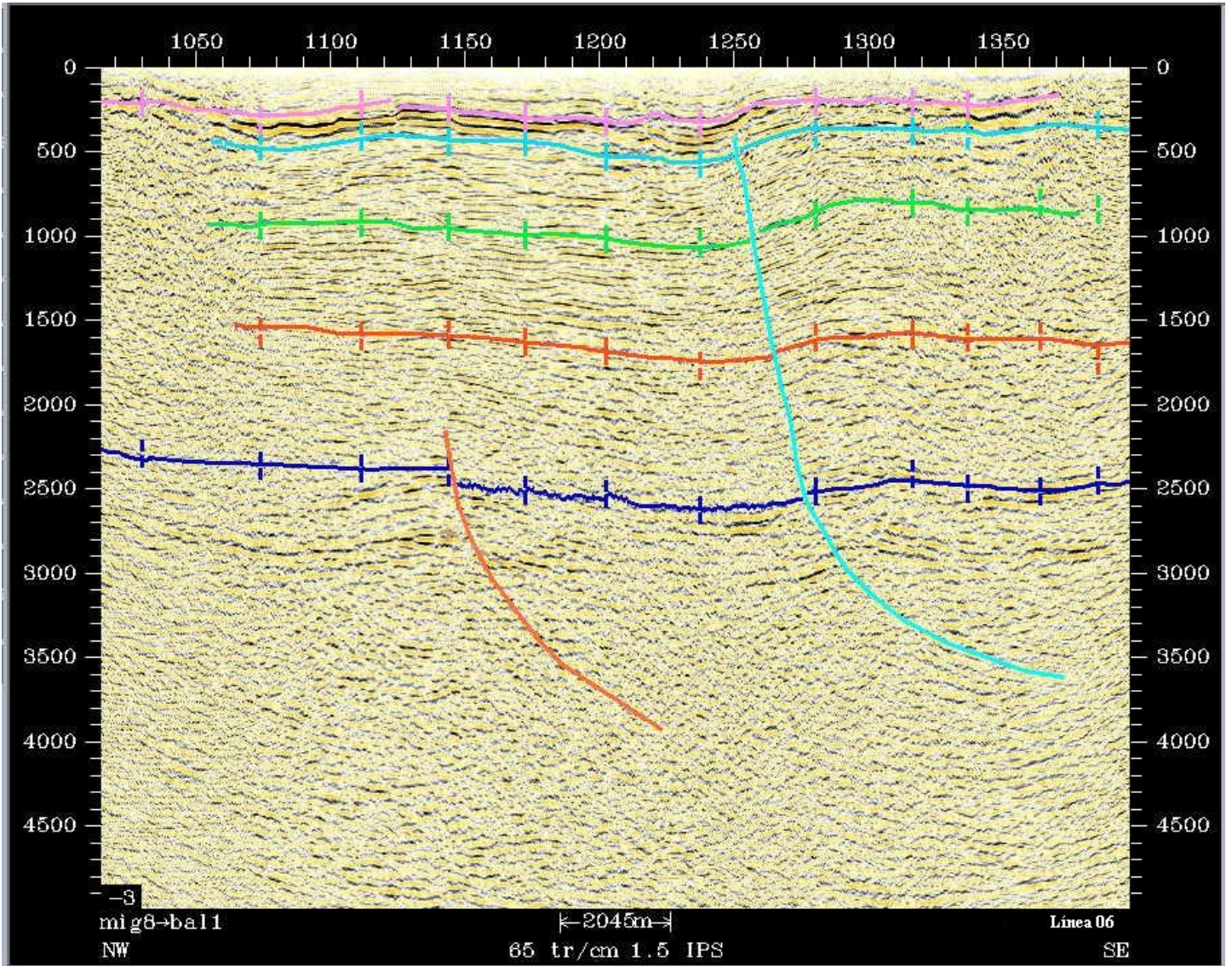
Línea 02



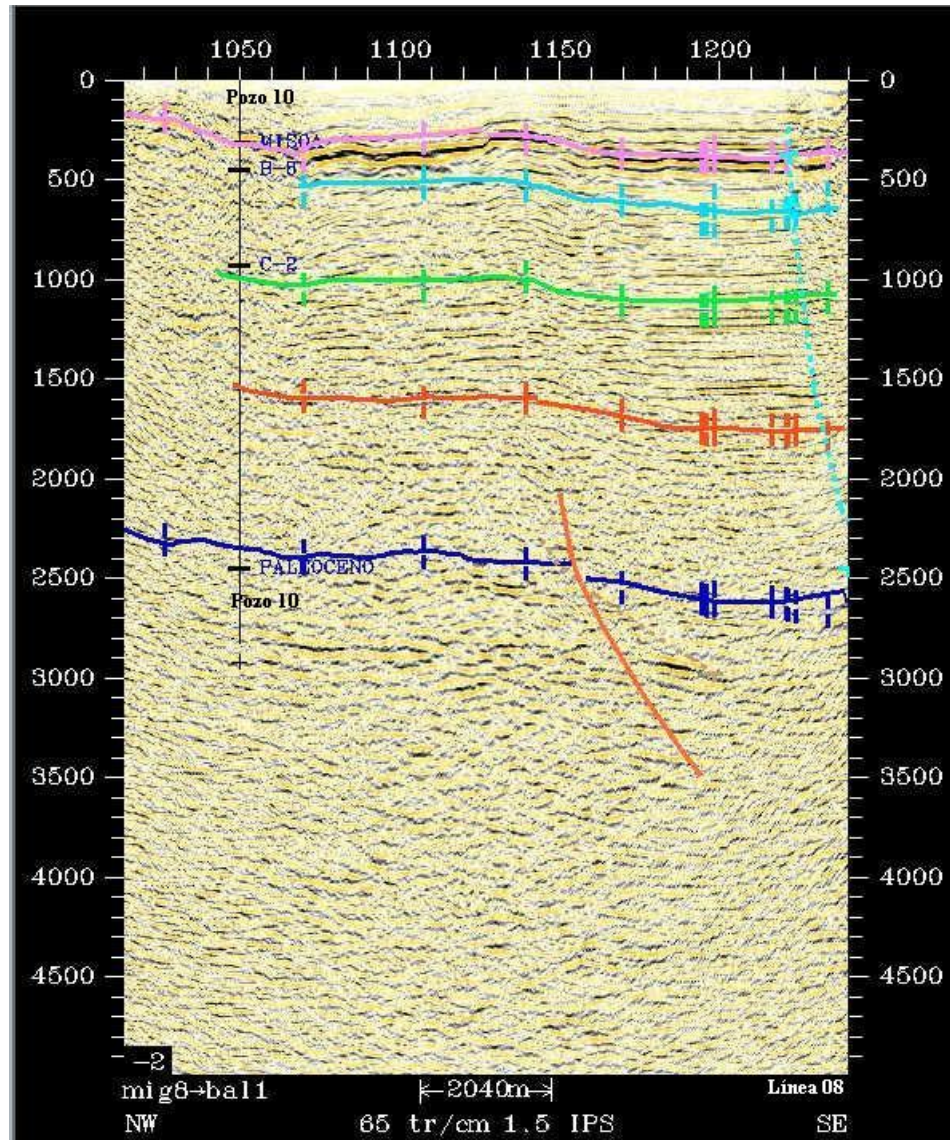
Línea 04



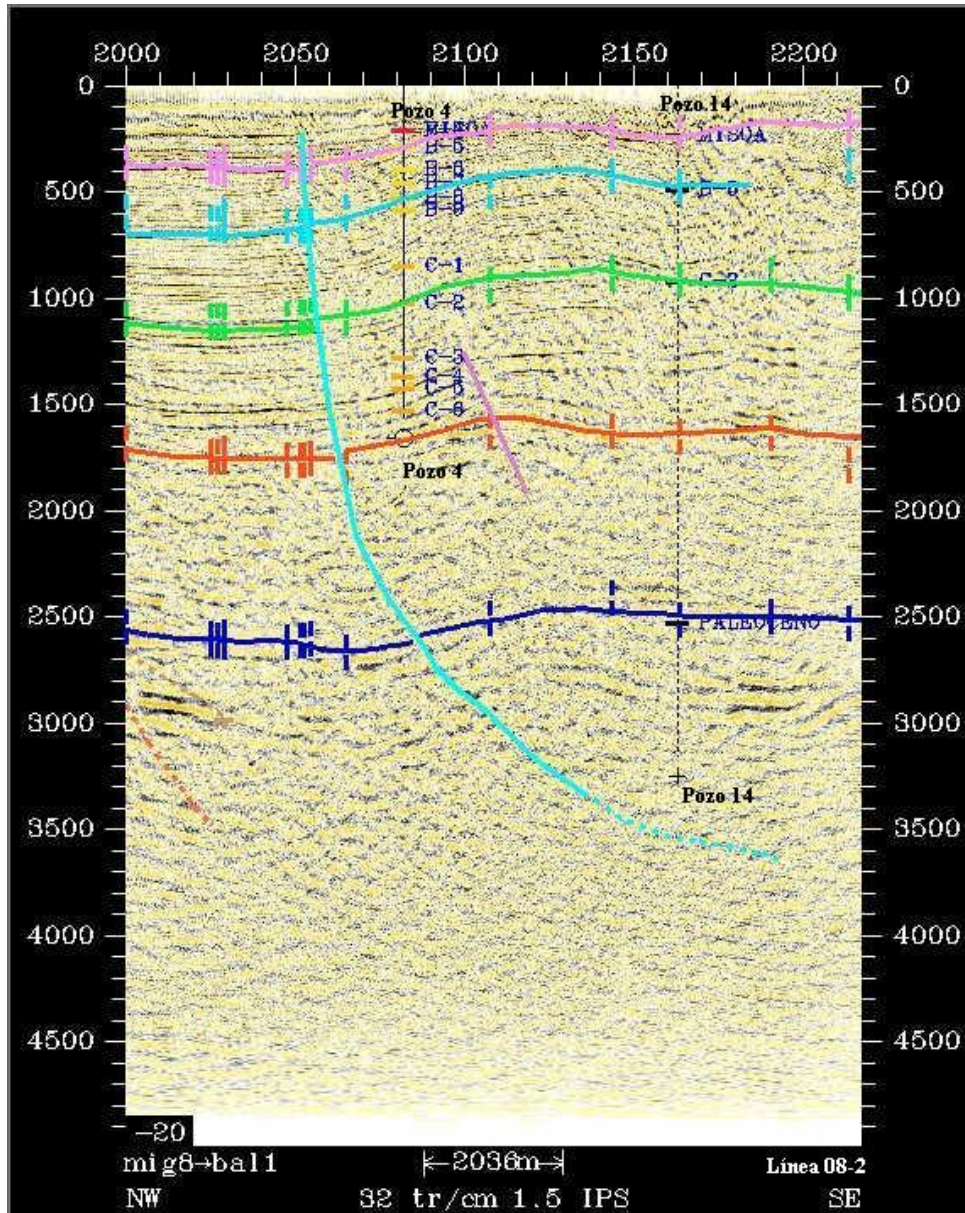
Línea 06



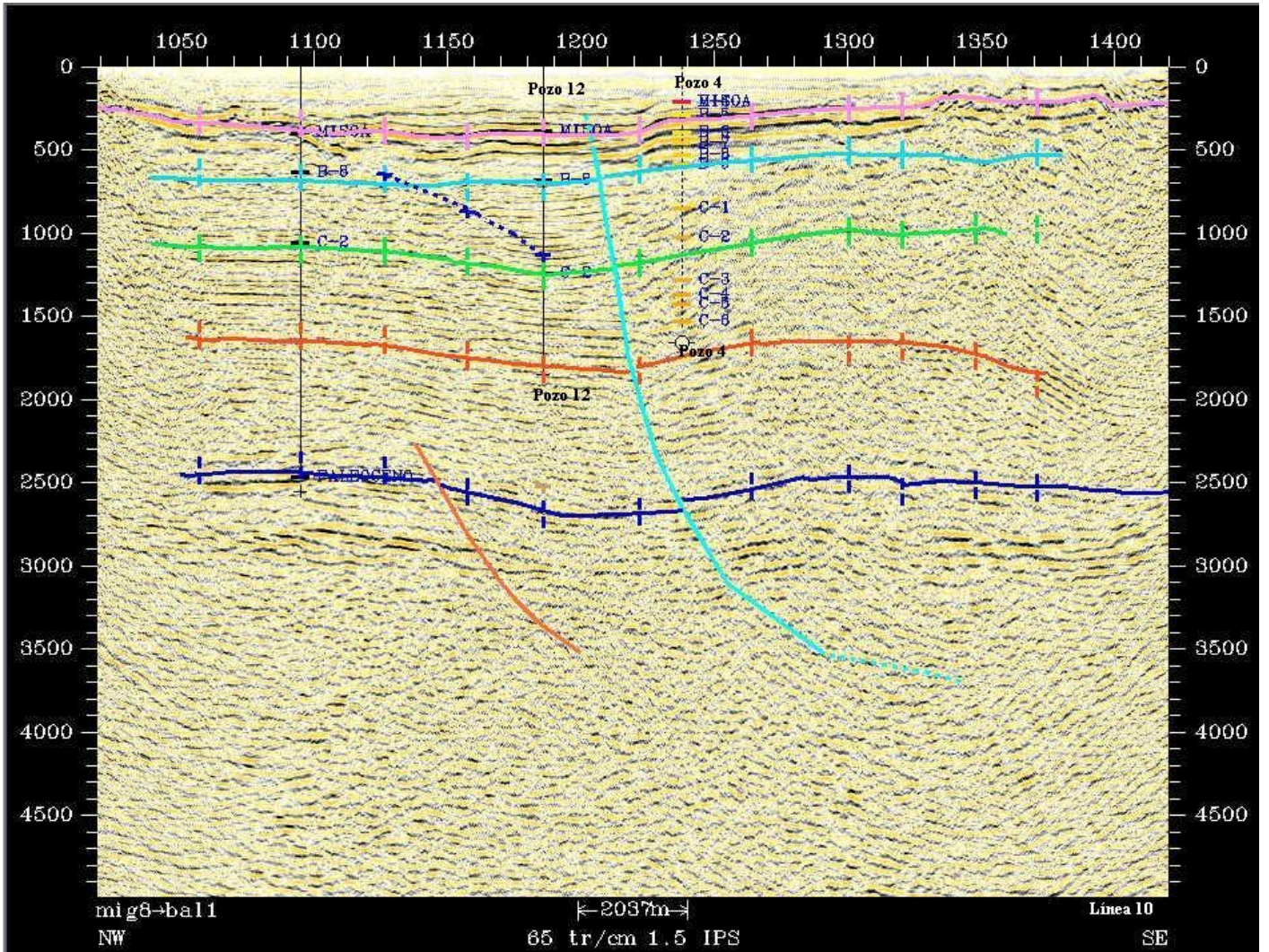
Línea 08



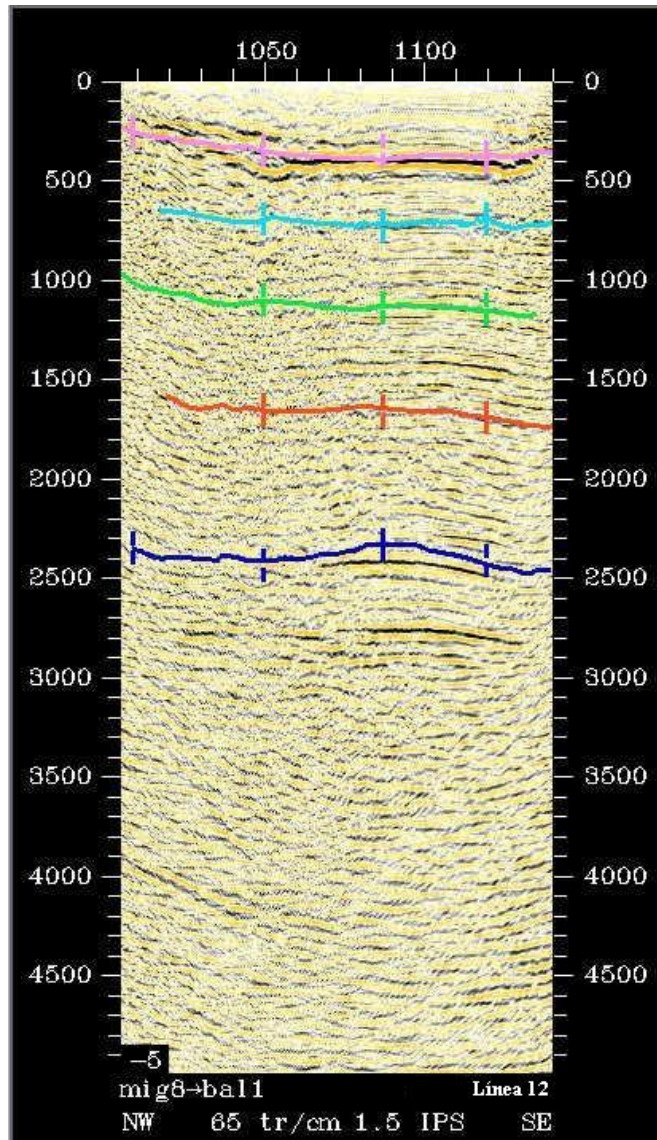
Línea 08-2



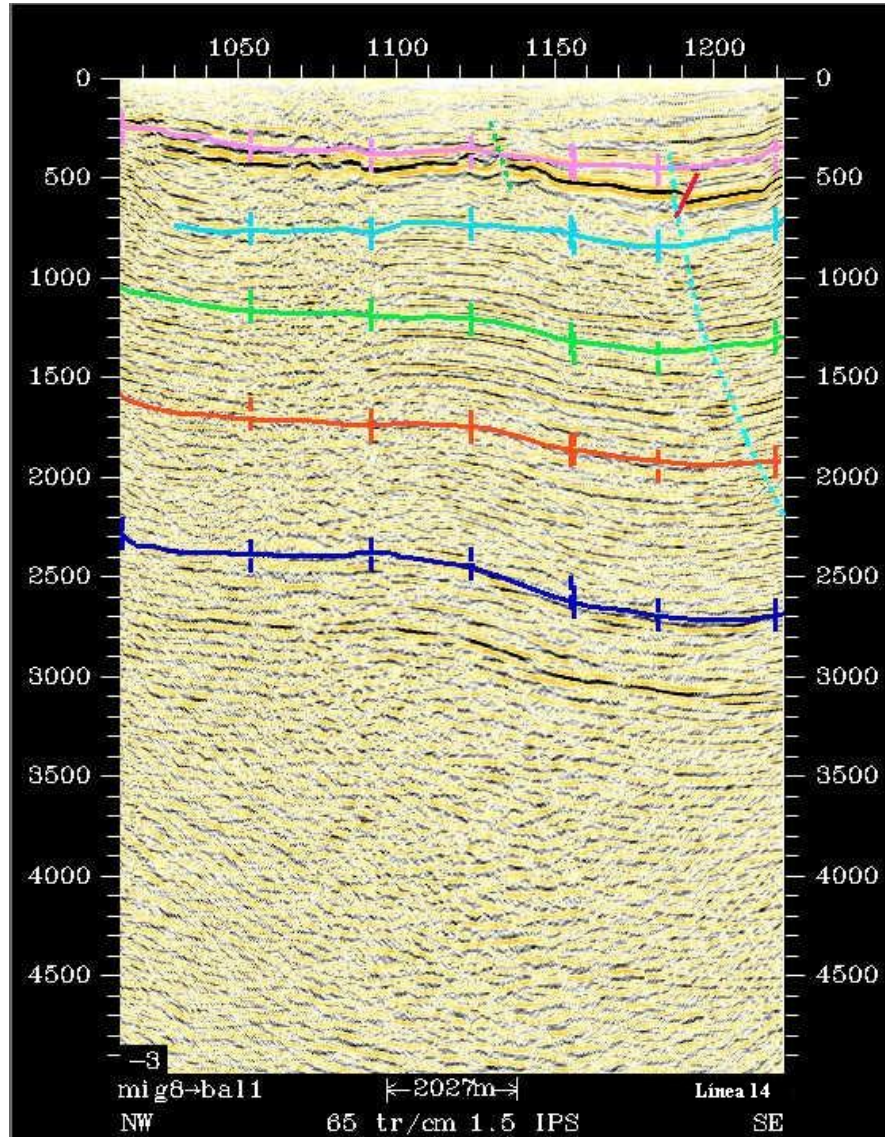
Línea 10



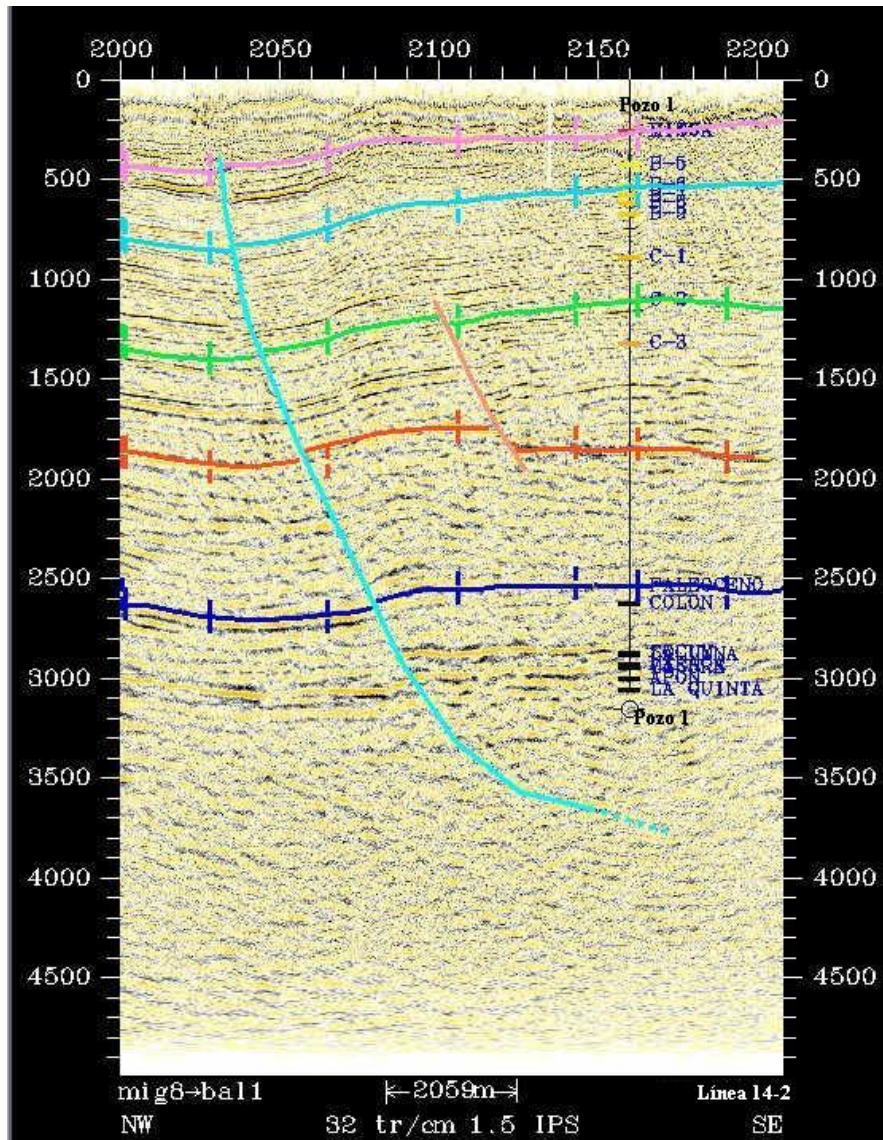
Línea 12



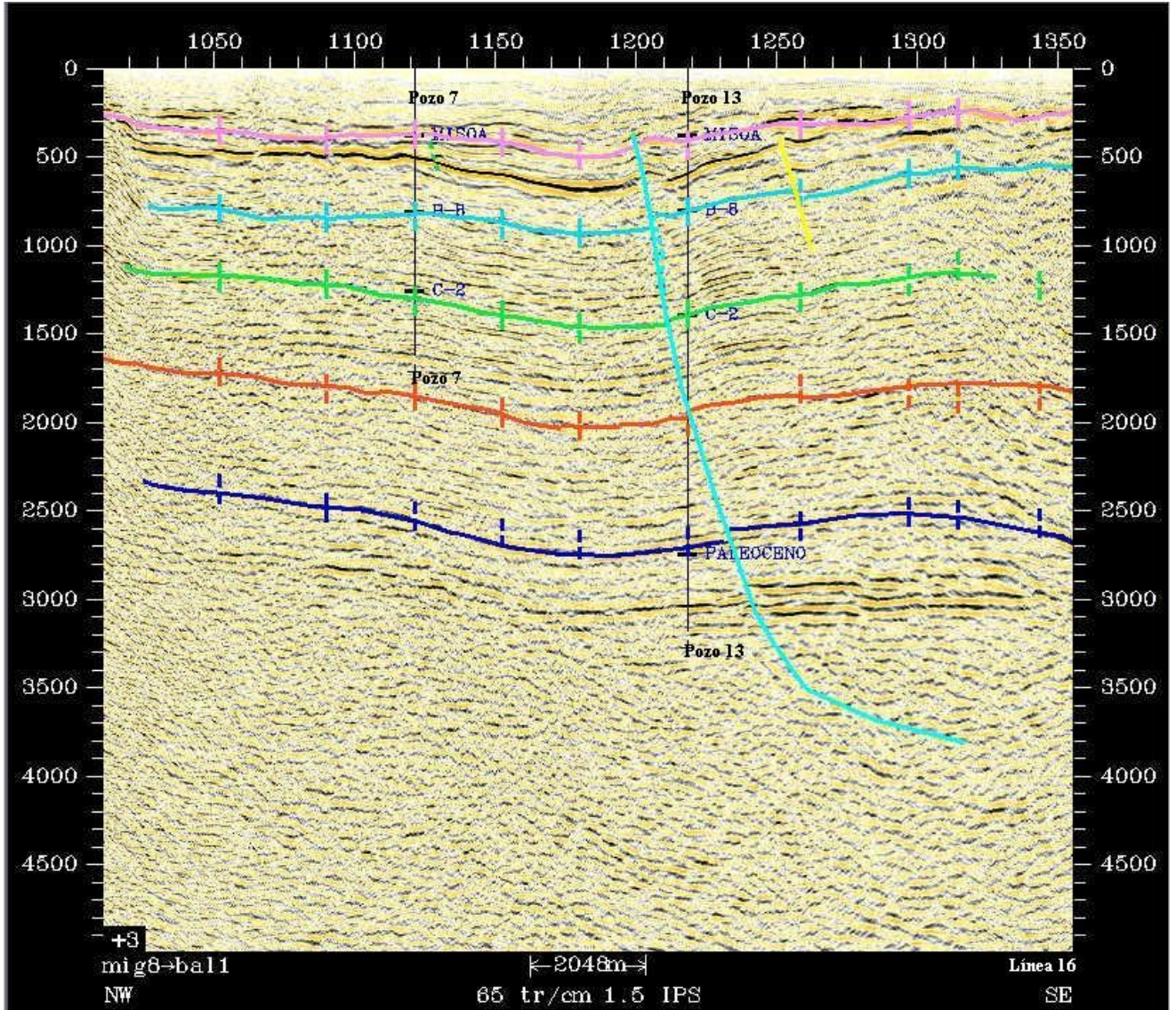
Línea 14



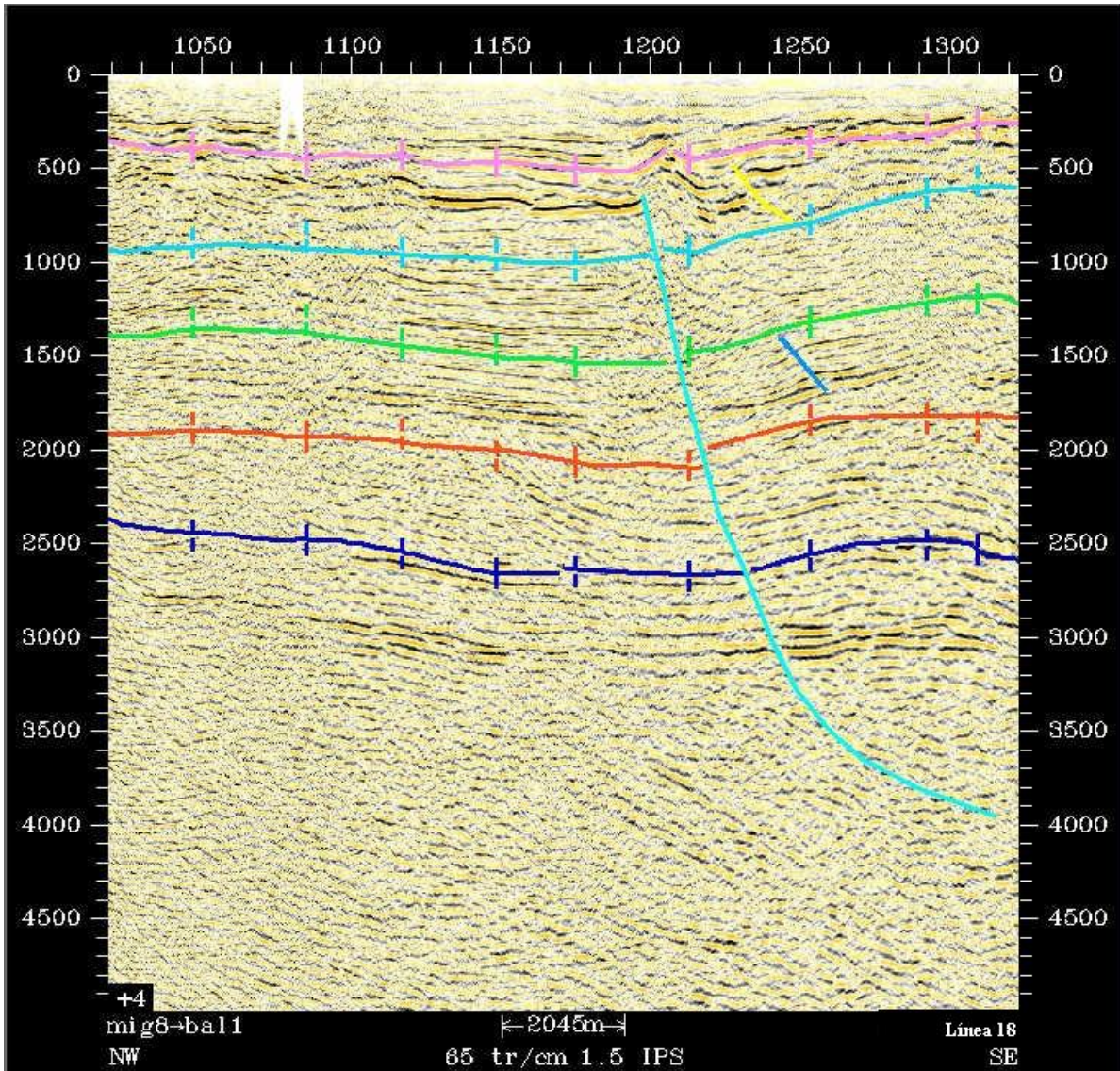
Línea 14-2



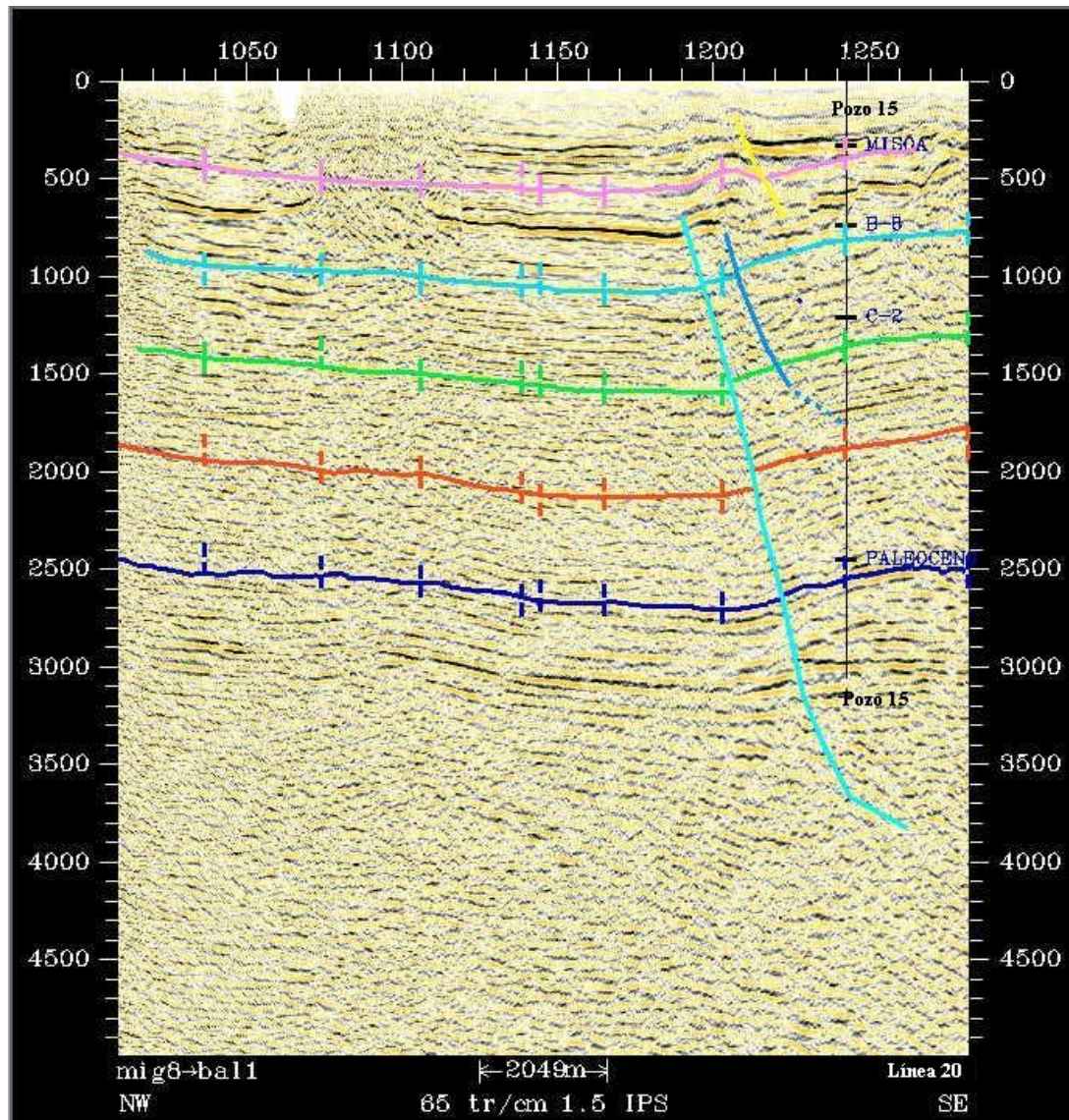
Línea 16



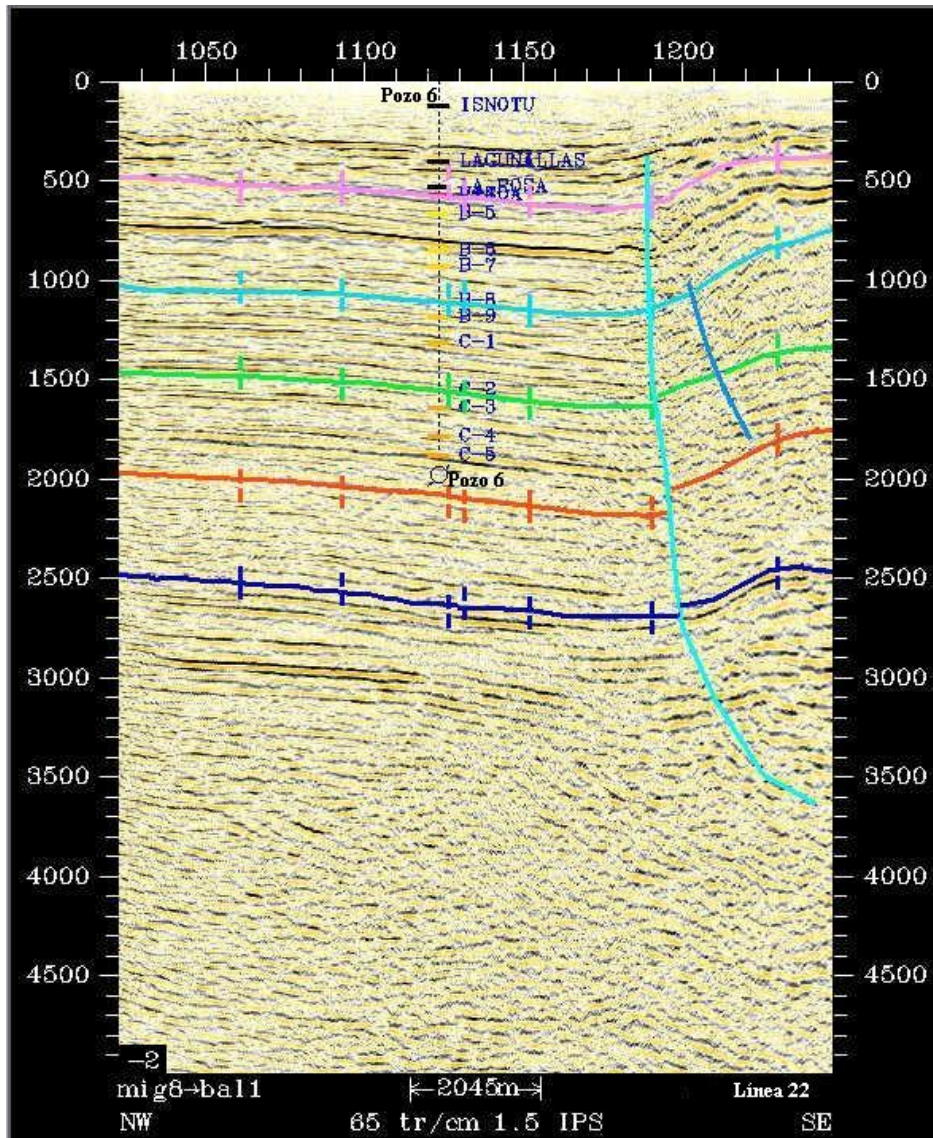
Línea 18



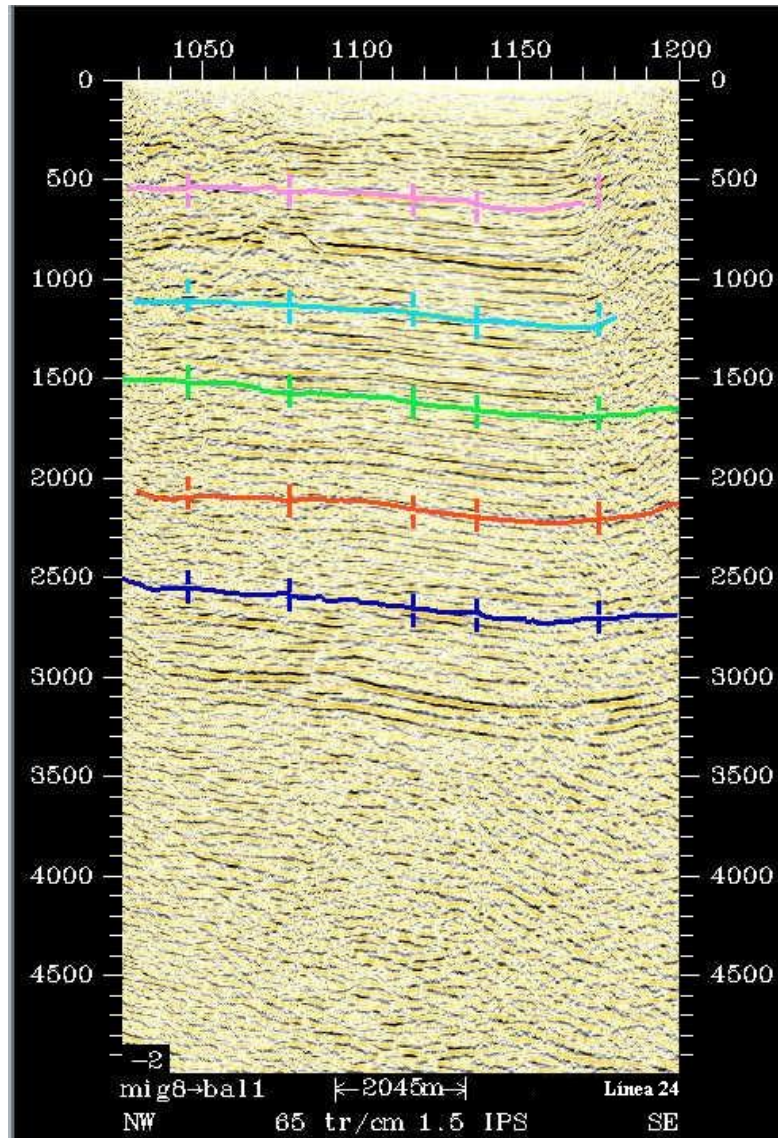
Línea 20



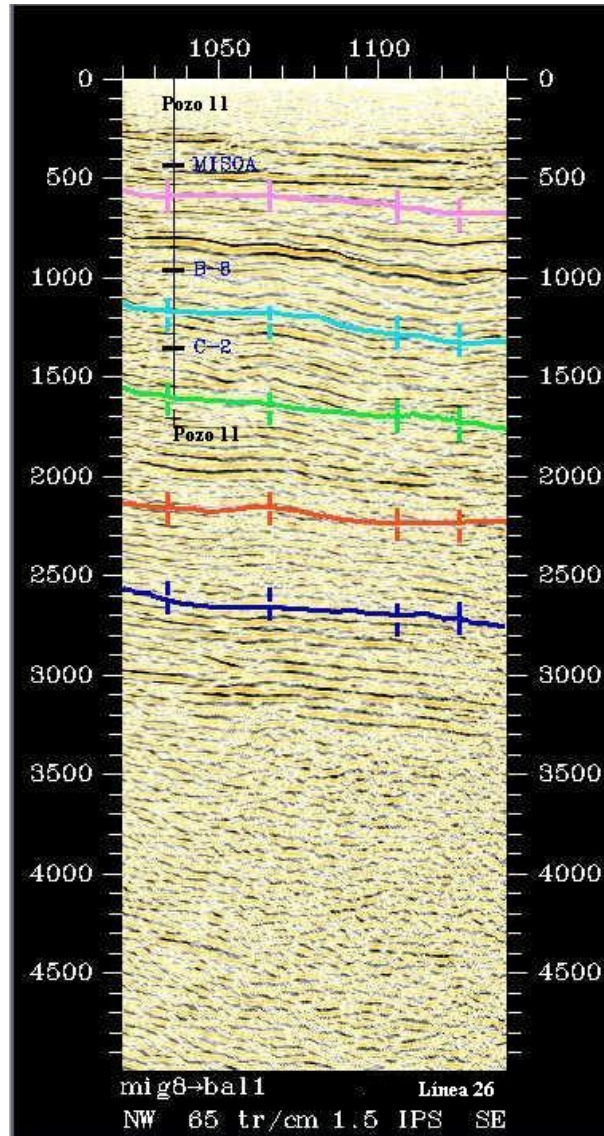
Línea 22



Línea 24



Línea 26

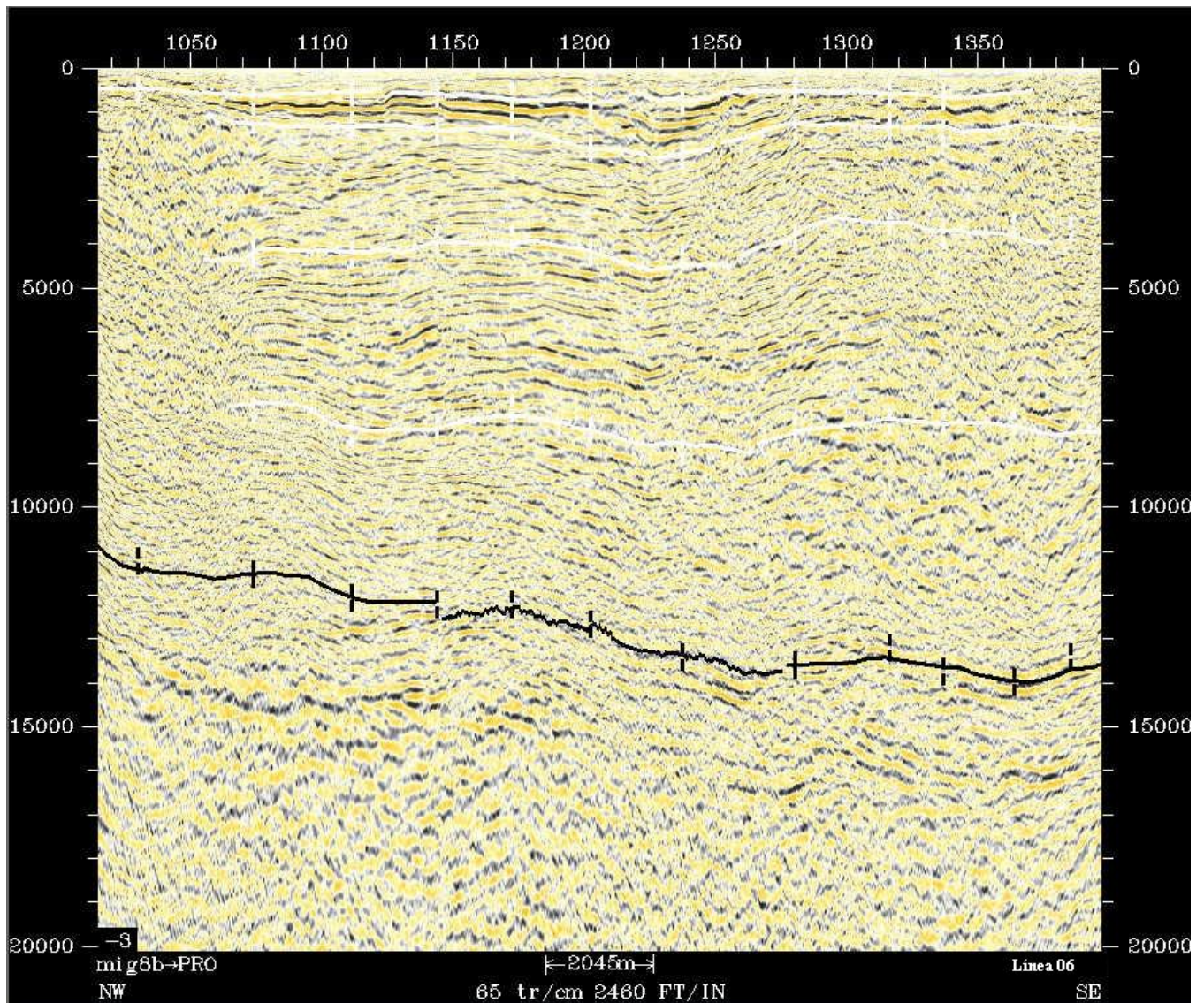


ANEXO C

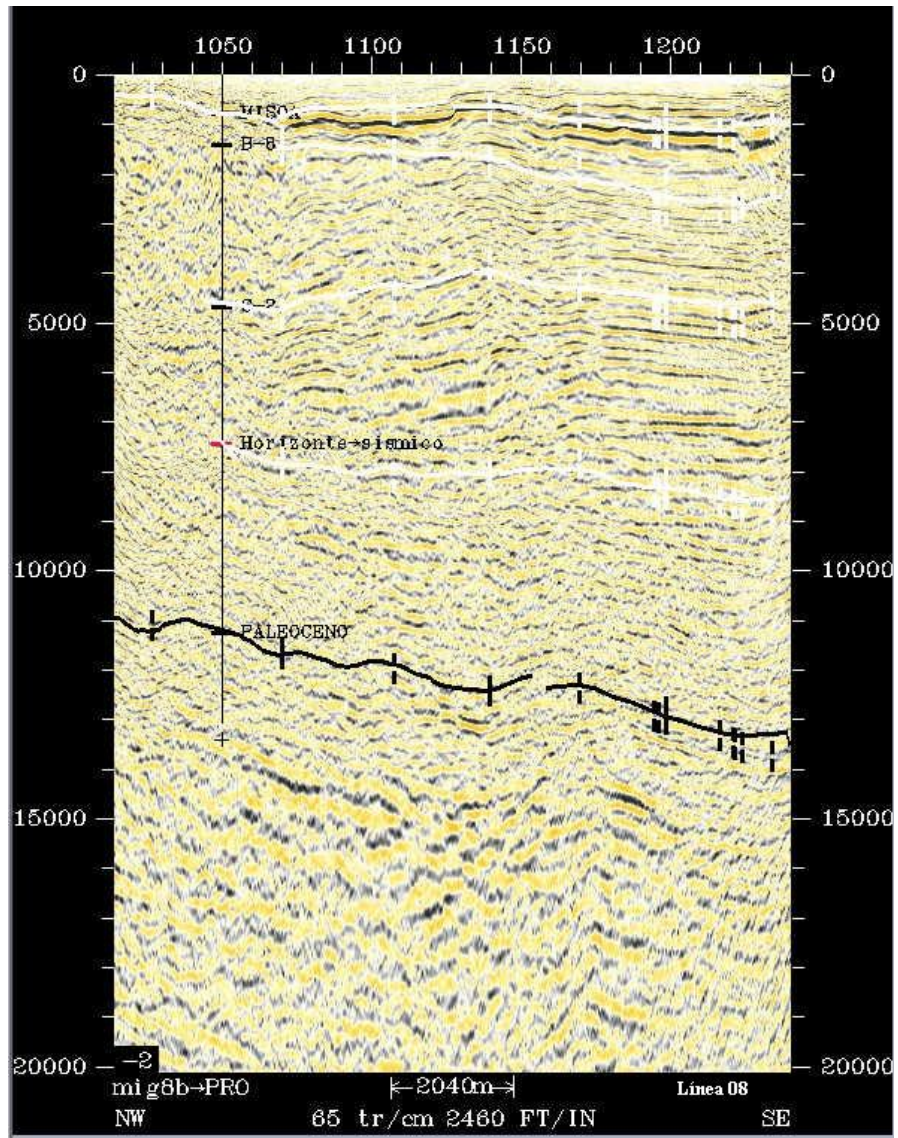
A continuación se muestran las líneas sísmicas en profundidad que son cortadas por los perfiles balanceados

La sección geológica 1 corta las líneas 06, 08, 08-2, 10

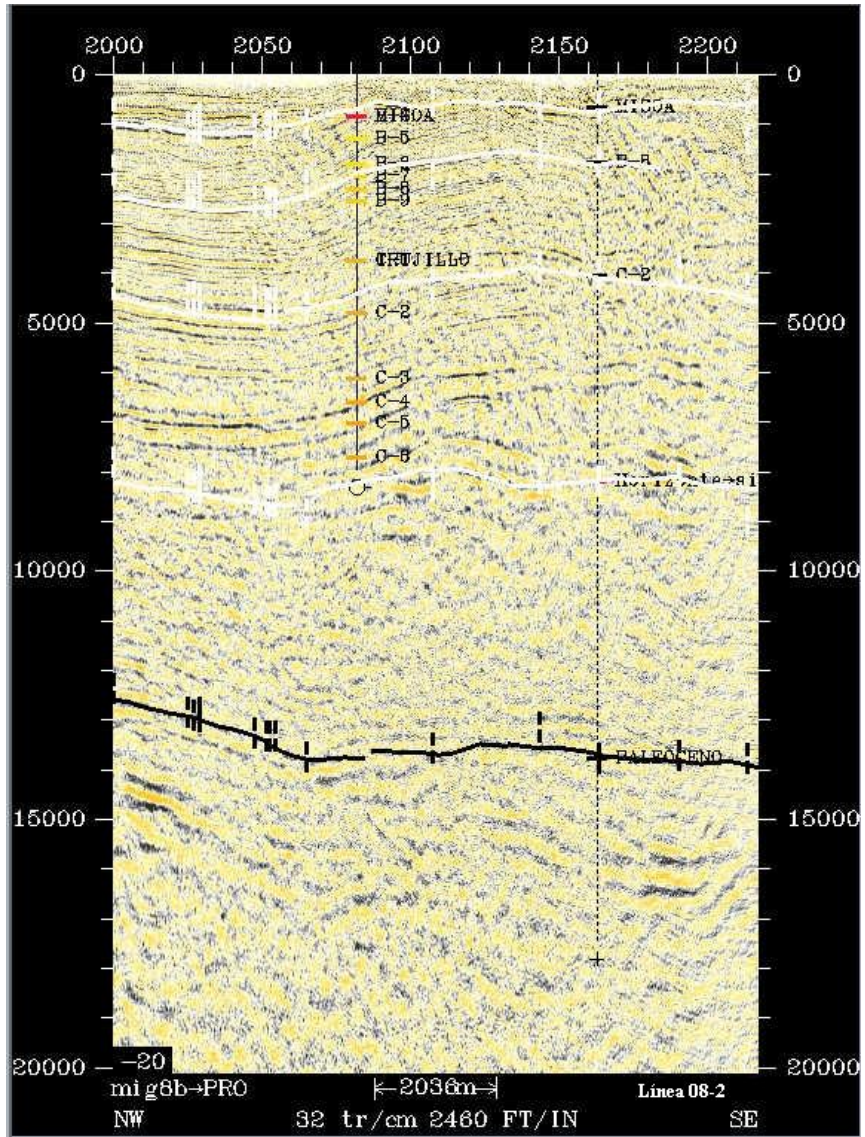
Línea 06



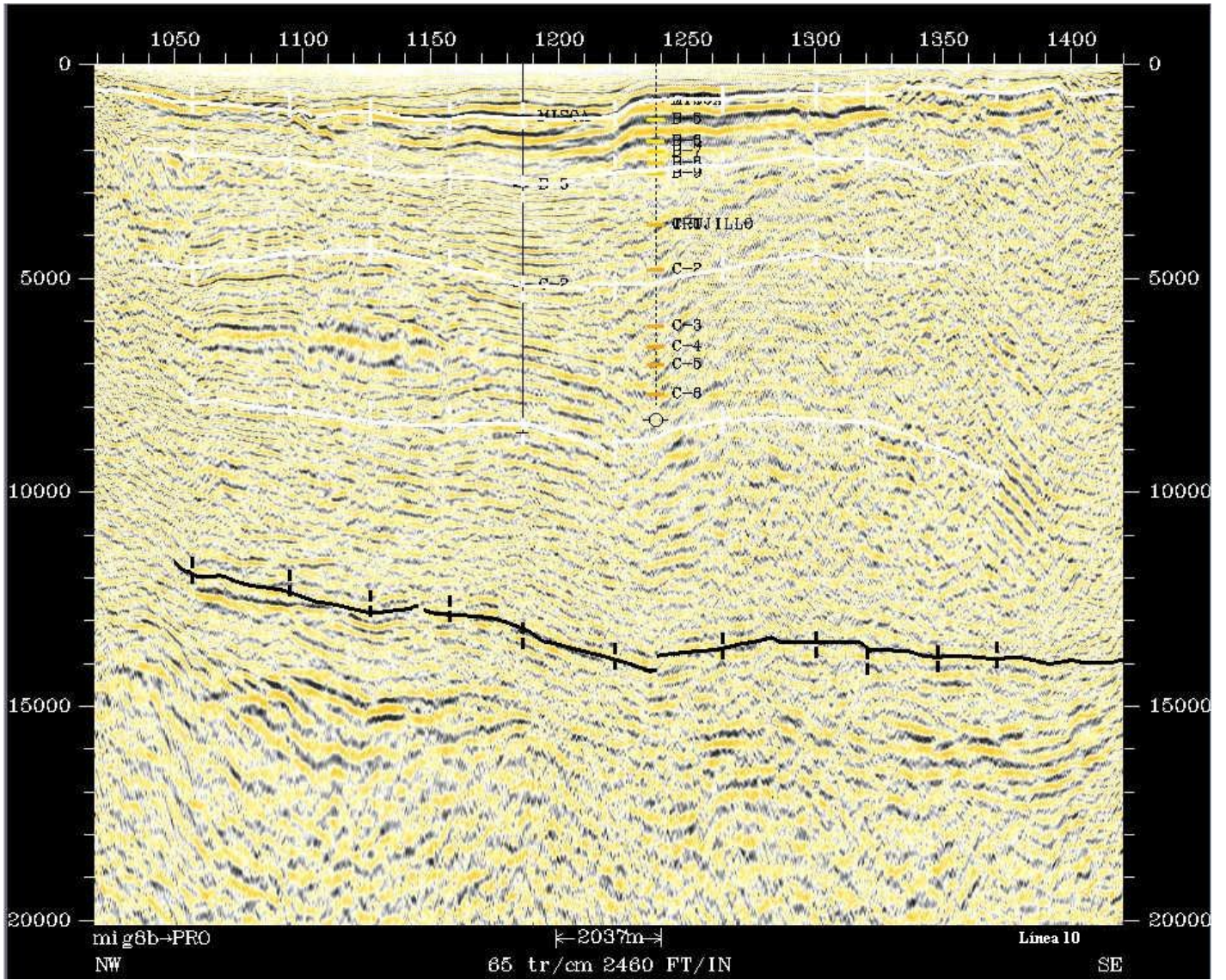
Línea 08



Línea 08-2

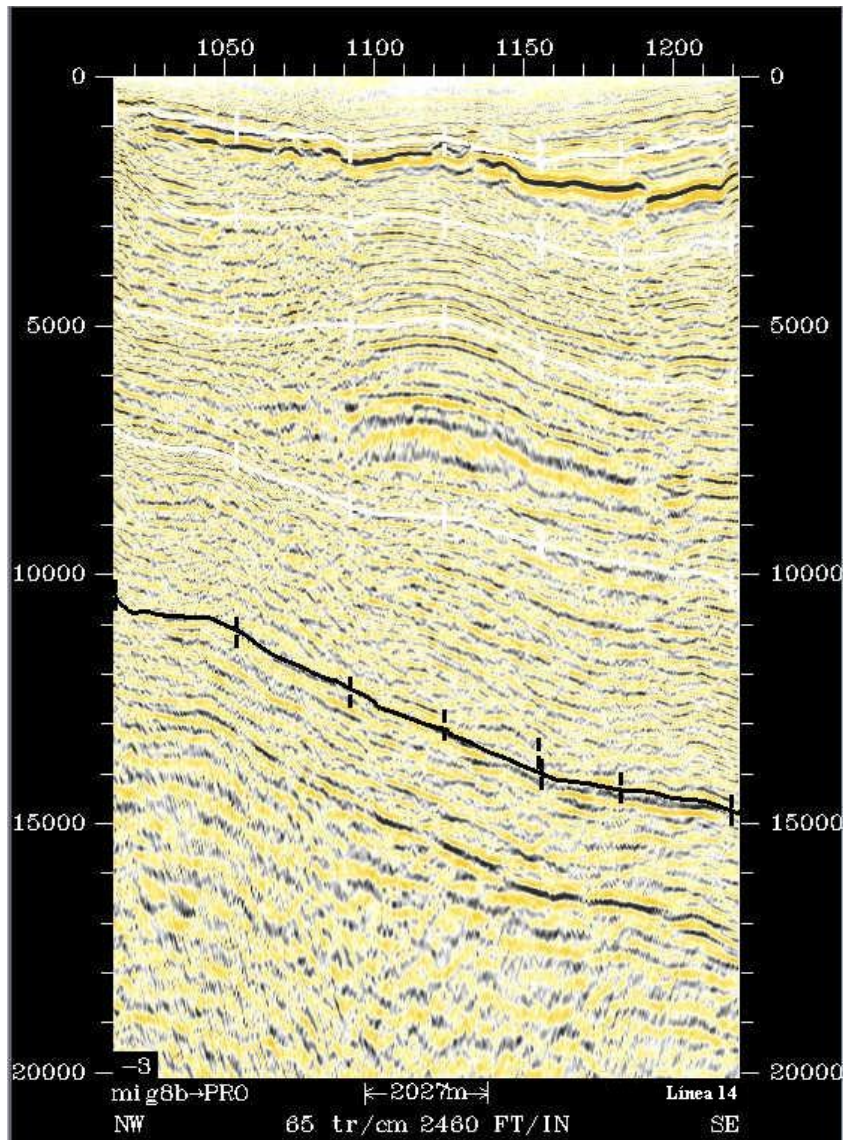


Línea 10

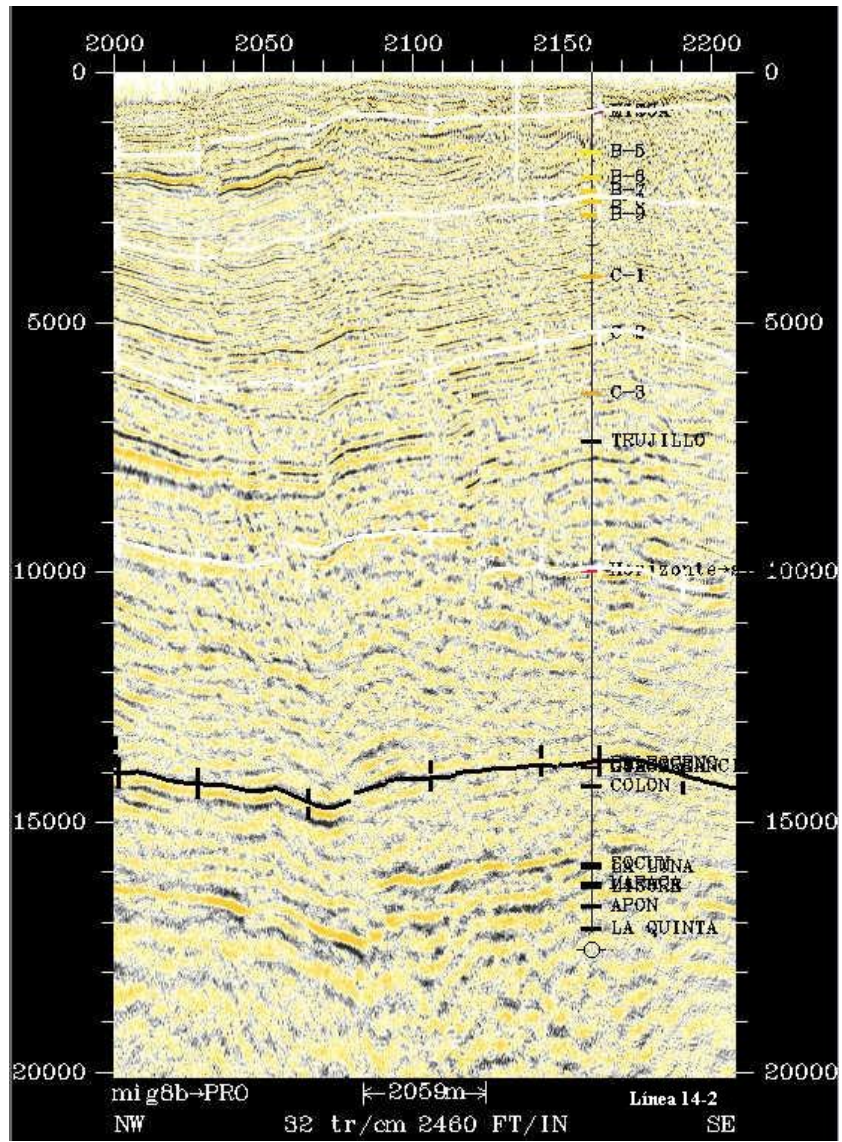


La sección geológica 2 corta las líneas 14, 14-2, 16, 18.

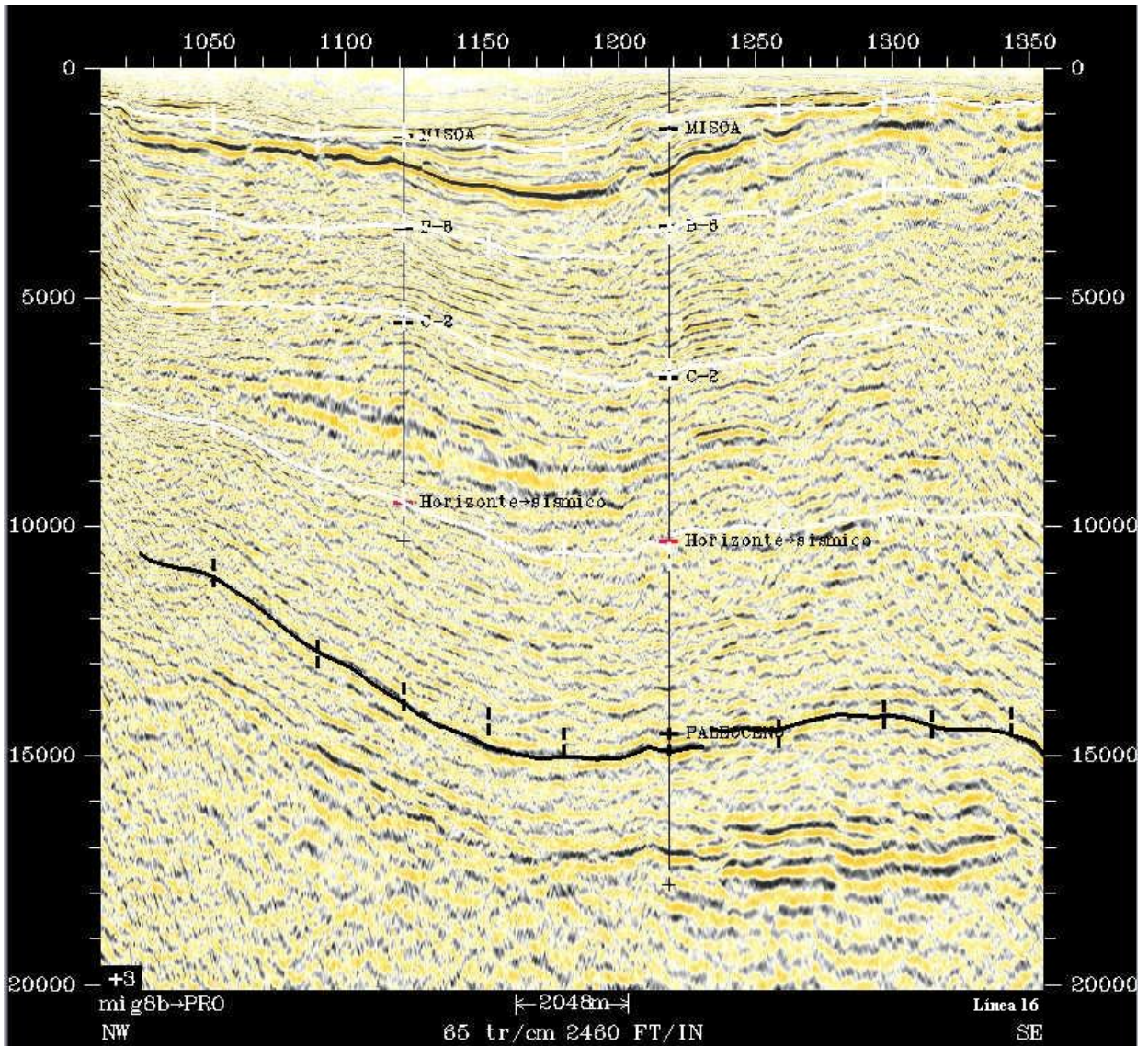
Línea 14



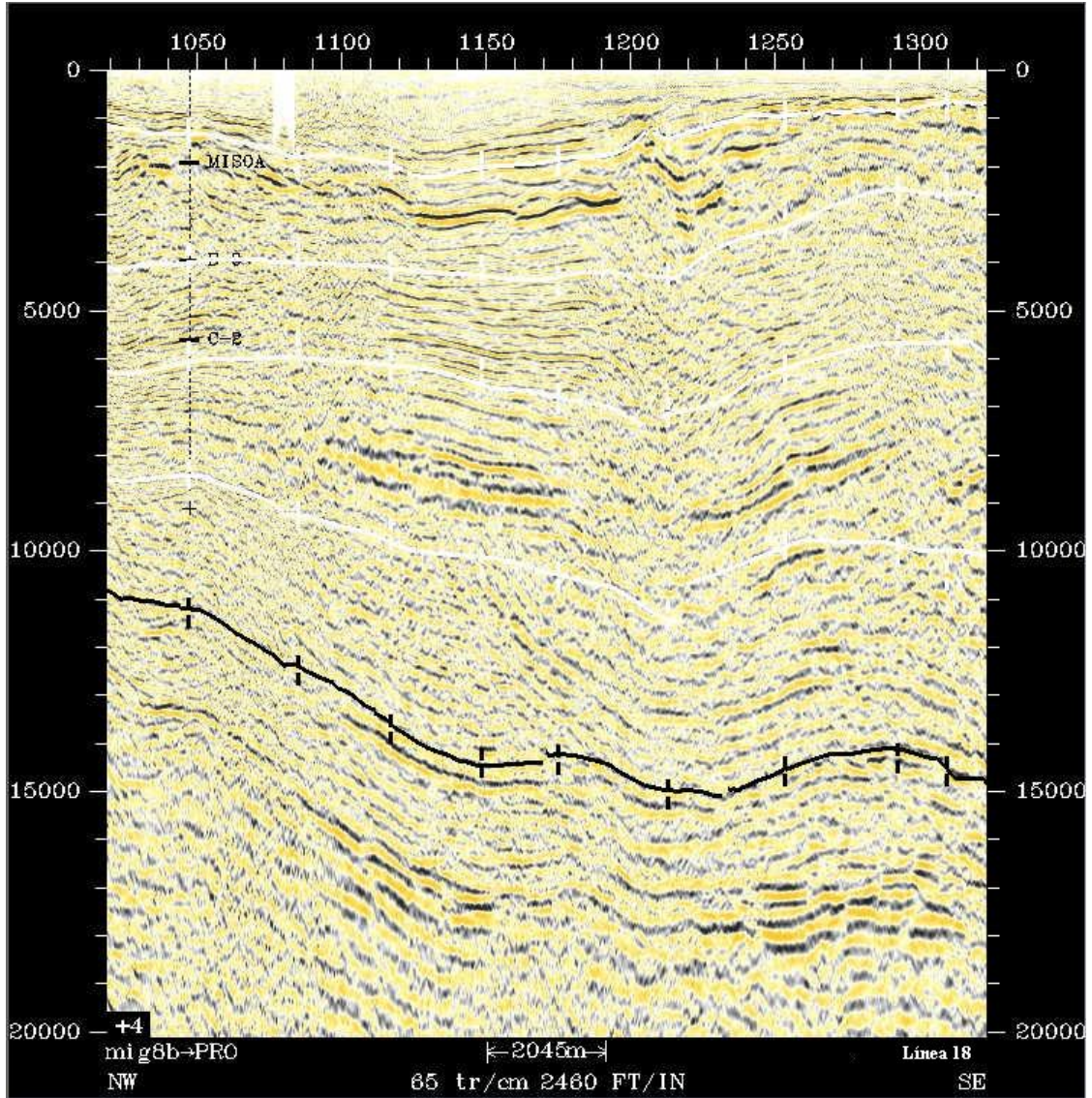
Línea 14-02



Línea 16



Línea 18



ANEXO D

A continuación se presentan las tablas con los valores de tiempo doble, profundidad en pies y de velocidad interválica, para cada uno de los pozos.

Tabla D.1: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 1 en pies/s.

Pozo 1		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
206,80	517,00	9840,20
402,80	1481,34	10234,80
602,80	2504,82	10682,60
802,80	3573,08	11115,90
1002,80	4684,67	10904,43
1202,80	5775,11	11821,79
1402,80	6957,29	13282,95
1602,80	8285,59	13208,31
1802,80	9606,42	13424,80
2002,80	10948,90	12342,38
2202,80	12183,14	9588,55
2402,80	13141,99	10463,29
2602,80	14188,32	11699,93
2802,80	15358,31	13103,86
3002,80	16668,70	17177,87
3065,53	17207,50	

Tabla D.2: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 2 en pies/s.

Pozo 2		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
657,20	1643,00	9891,69
801,20	2355,20	9479,67
1001,20	3303,17	9804,05
1201,20	4283,57	10087,26
1401,20	5292,30	11069,29
1601,20	6399,23	13328,25
1801,20	7732,05	14293,72
2001,20	9161,43	14703,79
2201,20	10631,81	13638,10
2401,20	11995,62	14893,19
2601,20	13484,93	12609,02
2801,20	14745,84	17639,72
2917,55	15772,00	

Tabla D.3: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 3 en pies/s.

Pozo 3		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
793	2936	10527,27
1013	4094	10260,87
1243	5274	11458,33
1435	6374	13111,11
1525	6964	13166,67
1765	8544	14674,16
1943	9850	13428,57
2293	12200	14000,00
2463	13390	11946,90
2689	14740	15304,35

Pozo 3		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
2804	15620	17488,37
2890	16372	

Tabla D.4: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 4 pies/s.

Pozo 4		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
230,00	482,00	11607,12
401,63	1579,52	10480,95
531,79	2261,62	9346,81
601,01	2585,11	7817,91
700,02	2972,12	7498,71
802,33	3355,73	6974,51
900,99	3699,78	8382,18
1003,30	4128,59	11398,53
1098,30	4670,01	10592,47
1196,88	5192,13	9974,00
1296,88	5690,81	10576,18
1396,88	6219,64	12580,10
1496,88	6848,62	13374,00
1596,88	7517,32	14137,53
1662,90	7984,00	

Tabla D.5: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 5 en pies/s.

Pozo 5		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
0	0	7870,00
100	393,5	8069,23
490	1967	9665,31
750	3223,49	11842,95
960	4467	12388,89
1140	5582	16090,91
1250	6467	14285,71
1460	7967	12500,00
1620	8967	10714,29
1900	10467	11111,11
2170	11967	11666,67
2290	12667	

Tabla D.6: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 6 en pies/s.

Pozo 6		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
119,00	167,00	8888,89
524,00	1967,00	8674,64
754,56	2967,00	6434,45
1065,38	3967,00	7149,65
1345,12	4967,00	7163,43
1650,00	6059,00	12789,81
1964,00	8067,00	13765,18
2211,00	9767,00	13861,39
2514,00	11867,00	12230,77
2722,00	13139,00	12650,52
3011,00	14967,00	12178,34

Pozo 6		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
3168,00	15923,00	21349,21
3294,00	17268,00	

Tabla D.7: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 7 en pies/s.

Pozo 7		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
2,91	10,64	11184,60
30,97	167,56	11495,56
62,97	351,49	11161,70
102,97	574,72	6072,76
202,97	878,36	8394,62
302,97	1298,09	11869,98
402,97	1891,59	14384,00
502,97	2610,79	12061,50
602,97	3213,87	13212,62
702,97	3874,50	11522,26
802,97	4450,61	12008,86
902,97	5051,05	10484,84
1002,97	5575,30	10521,32
1102,97	6101,36	9752,06
1202,97	6588,97	9649,06
1302,98	7071,45	15269,06
1402,97	7834,85	9911,04
1502,97	8330,41	4060,78
1578,13	8483,00	

Tabla D.8: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 8 en pies/s.

Pozo 8		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
0,00	0,00	4387,38
110,18	241,69	8790,26
208,61	674,33	8189,27
304,75	1067,97	9173,12
400,68	1507,98	8627,76
507,55	1969,00	5413,20
604,80	2232,21	10551,26
712,80	2801,98	11130,66
800,80	3291,73	11252,42
900,80	3854,35	15959,20
1002,82	4668,44	11589,41
1105,98	5266,21	13122,04
1203,10	5903,42	16918,61
1304,49	6761,13	13826,12
1409,72	7488,60	16016,40
1502,56	8232,02	11411,63
1602,07	8799,82	7406,95
1705,98	9184,65	9115,83
1806,80	9644,18	11559,28
1900,80	10187,47	10885,68
2012,80	10797,07	9908,82
2100,80	11233,05	8528,69
2220,01	11741,43	8430,54
2308,80	12115,68	9366,09
2472,65	12883,00	

Tabla D.9: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 9 pies/s.

Pozo 9		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
2,97	10,64	8677,21
202,97	878,36	8805,64
302,97	1318,64	12631,86
402,97	1950,24	13437,40
502,97	2622,11	12496,22
602,97	3246,92	12748,38
702,97	3884,34	11486,22
802,97	4458,65	12165,06
902,97	5066,90	10787,62
1002,97	5606,28	11218,98
1102,97	6167,23	9068,22
1202,97	6620,64	9782,58
1302,97	7109,77	11437,29
1400,61	7668,13	9885,95
1506,20	8190,04	2047,33
1609,73	8296,02	3567,92
1714,54	8483,00	

Tabla D.10: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 10 en pies/s.

Pozo 10		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
72,80	182,00	7583,66
202,64	674,33	9362,71
304,45	1150,92	8094,24
407,04	1566,13	6452,50
500,64	1868,11	15430,80
601,10	2643,20	9107,64

Pozo 10		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
701,17	3098,88	8403,80
802,31	3523,88	12670,40
900,80	4147,83	12161,80
1001,00	4757,14	9888,23
1104,14	5267,09	11553,69
1201,27	5828,19	12064,81
1304,81	6452,74	13076,41
1402,84	7093,74	12548,71
1505,56	7738,23	5700,48
1605,79	8023,90	6526,94
1701,69	8336,87	10856,84
1800,43	8872,87	9720,53
1904,11	9376,76	6461,46
2000,32	9687,61	8465,00
2103,02	10122,29	8633,08
2201,76	10548,50	9111,65
2300,80	10999,70	9526,36
2400,80	11476,02	9556,28
2500,80	11953,84	9189,48
2600,80	12413,31	9416,14
2700,56	12883,00	

Tabla D.11: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 11 en pies/s.

Pozo 11		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
2,97	10,64	11281,66
102,97	574,72	6072,76
202,97	878,36	8299,84
302,97	1293,35	13331,22
502,97	2626,48	12395,66
602,97	3246,26	13579,62
702,97	3925,24	11485,68

Pozo 11		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
802,97	4499,52	11979,94
902,97	5098,52	10605,92
1002,97	5628,82	10101,72
1102,97	6133,90	9621,40
1202,97	6614,97	9869,96
1302,97	7108,47	16336,06
1402,97	7925,27	8494,82
1502,97	8350,02	4060,80
1568,47	8483,00	

Tabla D.12: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad interválica del pozo 12 en pies/s.

Pozo 12		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Interválica
192,00	480,00	11312,00
300,00	1090,85	11636,72
400,00	1672,68	12242,36
500,00	2284,80	9439,76
600,00	2756,79	7158,18
700,00	3114,70	6684,60
800,00	3448,93	6274,82
900,00	3762,67	8999,70
1000,00	4212,66	10454,86
1100,00	4735,40	10753,56
1200,00	5273,08	10287,18
1300,00	5787,44	9881,70
1400,00	6281,52	12887,90
1500,00	6925,92	13277,60
1600,00	7589,80	14252,70
1668,93	8081,00	

Tabla D.13: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 13 en pies/s.

Pozo 13		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
212,00	530,00	9880,32
300,00	964,73	9358,94
400,00	1432,68	10017,64
500,00	1933,56	10167,48
600,00	2441,94	10398,60
700,00	2961,87	10396,26
800,00	3481,68	10992,02
900,00	4031,28	10964,10
1000,00	4579,49	10741,58
1100,00	5116,57	10885,32
1200,00	5660,83	10726,02
1300,00	6197,13	12275,58
1400,00	6810,91	13593,12
1500,00	7490,57	12758,50
1600,00	8128,49	14161,48
1700,00	8836,57	13081,74
1800,00	9490,65	13114,54
1900,00	10146,38	13683,22
2000,00	10830,54	13587,74
2100,00	11509,93	11934,46
2200,00	12106,65	8609,94
2300,00	12537,15	8190,42
2400,00	12946,67	9079,34
2500,00	13400,64	9412,44
2600,00	13871,26	10178,80
2700,00	14380,20	11802,74
2800,00	14970,34	11669,10
2900,00	15553,79	11578,22
3000,00	16132,70	12709,18
3100,00	16768,16	16849,72
3157,25	17250,50	

Tabla D.14: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 14 en pies/s.

Pozo 14		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
212,00	530,00	8783,93
300,00	916,49	8467,78
400,00	1339,88	10251,42
500,00	1852,45	9874,70
600,00	2346,19	10715,78
700,00	2881,98	10503,52
800,00	3407,15	11228,30
900,00	3968,57	11168,08
1000,00	4526,97	10698,98
1100,00	5061,92	10875,56
1200,00	5605,70	10781,04
1300,00	6144,75	11857,16
1400,00	6737,61	13816,40
1500,00	7428,43	12904,00
1600,00	8073,63	14261,88
1700,00	8786,72	13299,50
1800,00	9451,70	12947,86
1900,00	10099,09	13508,92
2000,00	10774,54	14099,88
2100,00	11479,53	11944,02
2200,00	12076,73	10200,00
2300,00	12586,73	8333,98
2400,00	13003,43	9785,24
2500,00	13492,69	9725,92
2600,00	13978,99	10350,14
2700,00	14496,50	11837,54
2800,00	15088,37	11967,70
2900,00	15686,76	11511,20
3000,00	16262,32	13623,18
3100,00	16943,48	17755,20
3134,58	17250,50	

Tabla D.15: Datos de tiempo doble en ms, profundidad en pies y de velocidad intervállica del pozo 15 en pies/s.

Pozo 15		
Tiempo	Profundidad	Velocidad Intervállica
662,40	1656,00	9378,85
702,40	1843,58	9694,84
802,40	2328,32	9854,16
902,40	2821,03	9509,80
1002,40	3296,52	10107,34
1102,40	3801,88	9128,56
1202,40	4258,31	9327,64
1302,40	4724,69	10074,76
1402,40	5228,43	9543,16
1502,40	5705,59	12521,94
1602,40	6331,69	13639,84
1702,40	7013,68	12710,86
1802,40	7649,22	14335,88
1902,40	8366,02	14404,08
2002,40	9086,22	14602,78
2102,40	9816,36	14502,36
2202,40	10541,48	13879,82
2302,40	11235,47	13485,96
2402,40	11909,77	14085,66
2502,40	12614,05	14877,46
2602,40	13357,92	15525,24
2702,40	14134,18	12731,16
2802,40	14770,74	11726,50
2902,40	15357,07	12391,10
3002,40	15976,62	18162,46
3045,06	16364,00	

ANEXO E

A continuación se presentan los 5 mapas estructurales en tiempo sin editar.

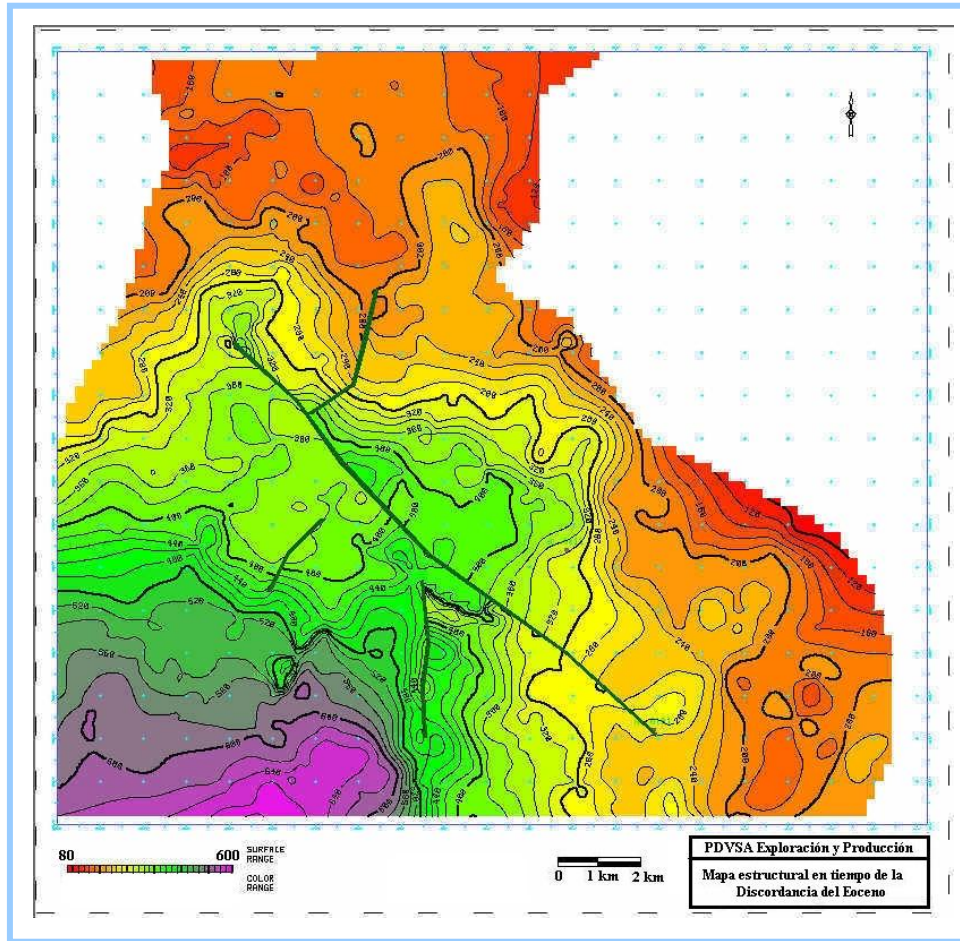


Figura E.1. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Eoceno

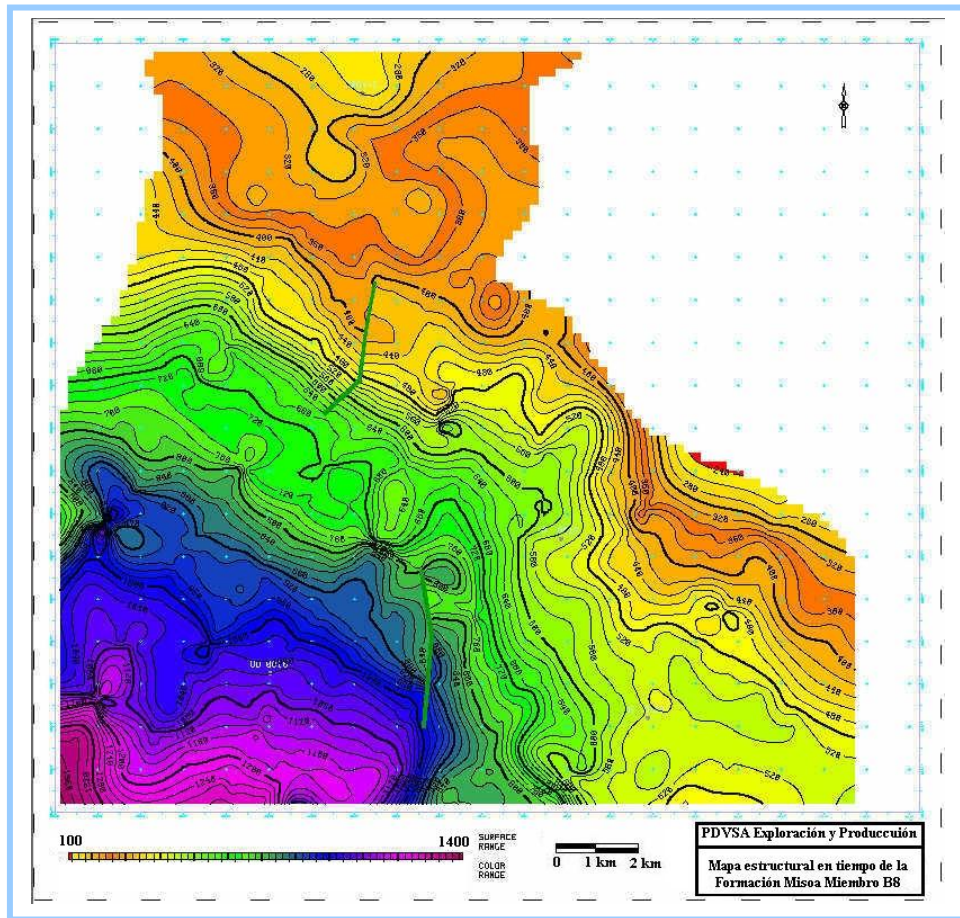


Figura E.2. Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro B8

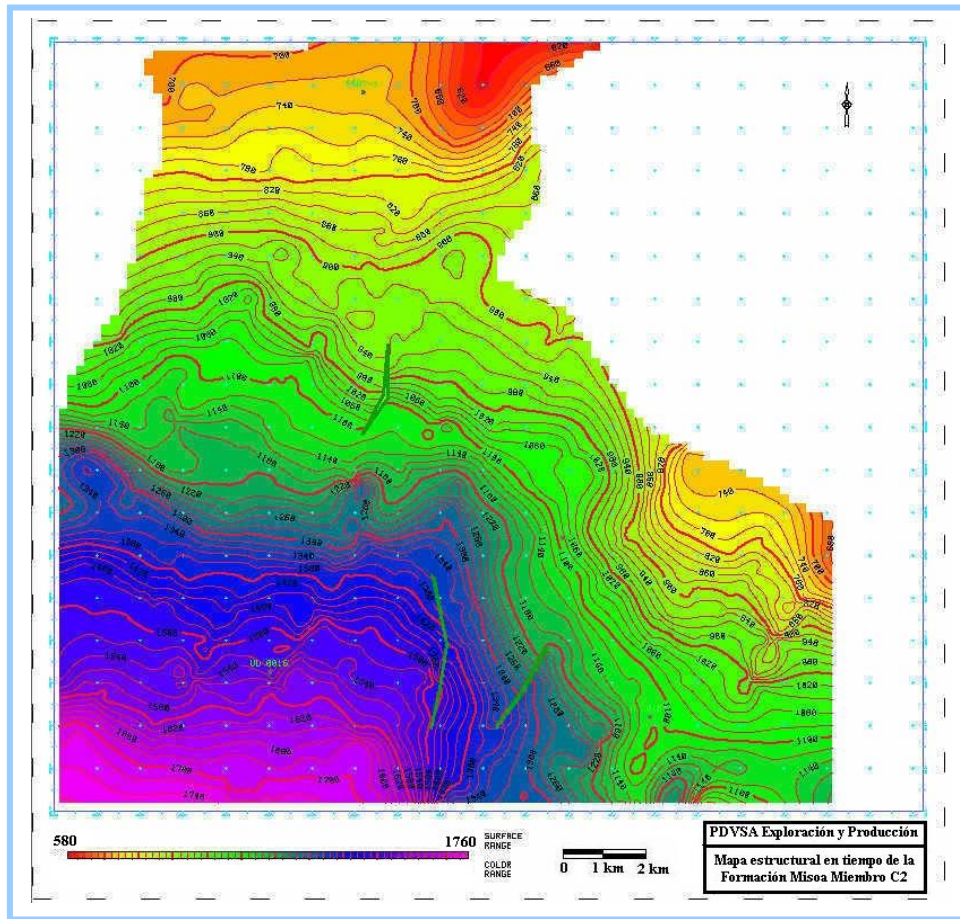


Figura E.3. Mapa estructural en tiempo de la Fm. Misoa Miembro C2.

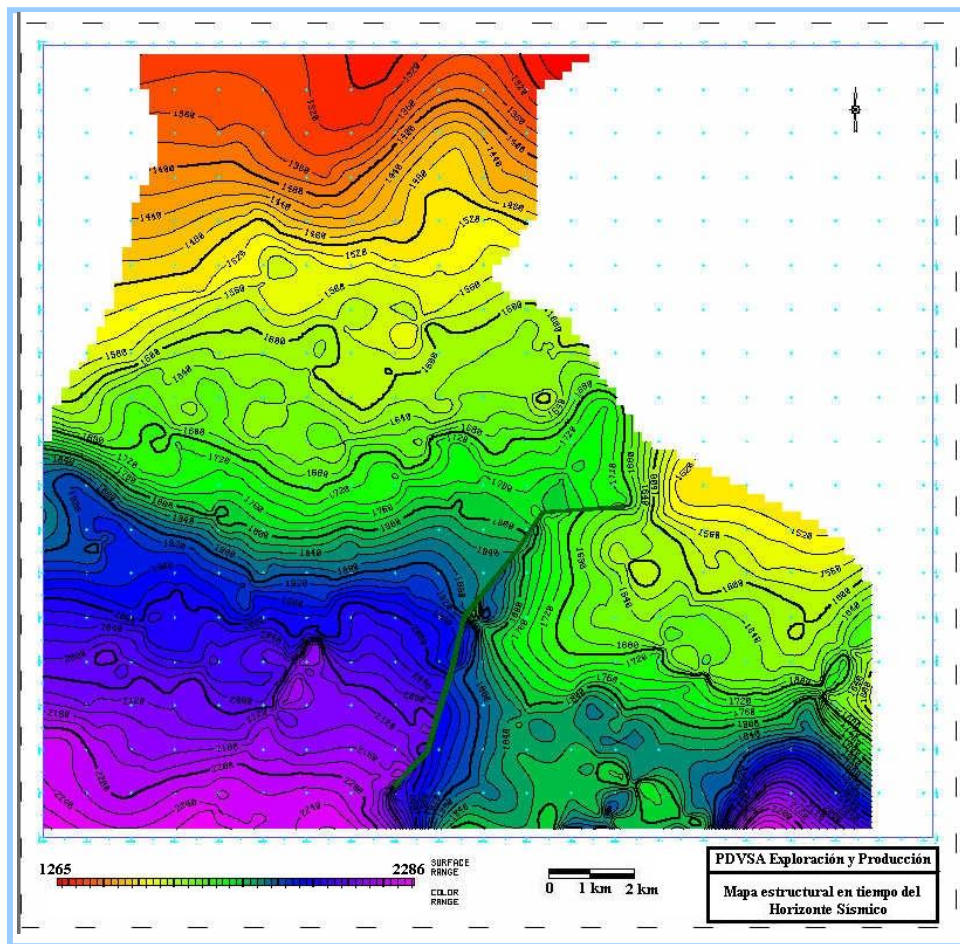


Figura E.4. Mapa estructural en tiempo del Horizonte Sísmico

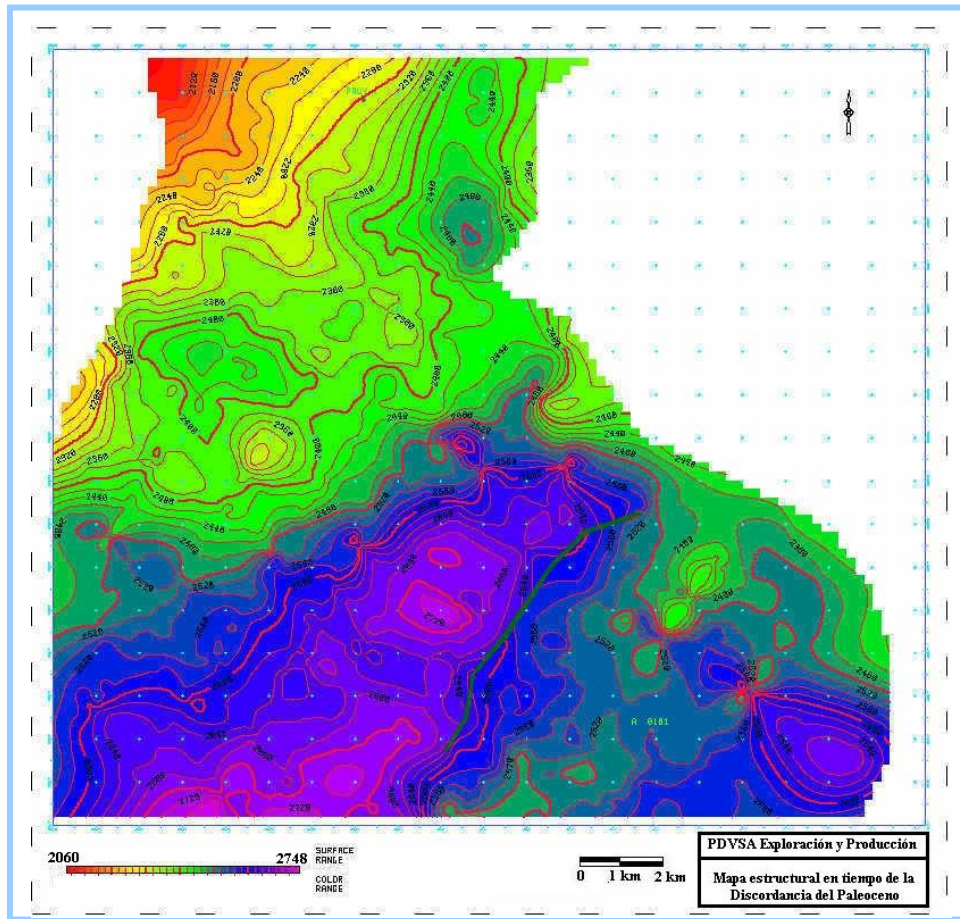


Figura E.5. Mapa estructural en tiempo de la Discordancia del Paleoceno

ANEXO F

A continuación se presentan los mapas de velocidad del horizonte sísmico y de la Discordancia del Paleoceno calculados con la aplicación ZMap Plus

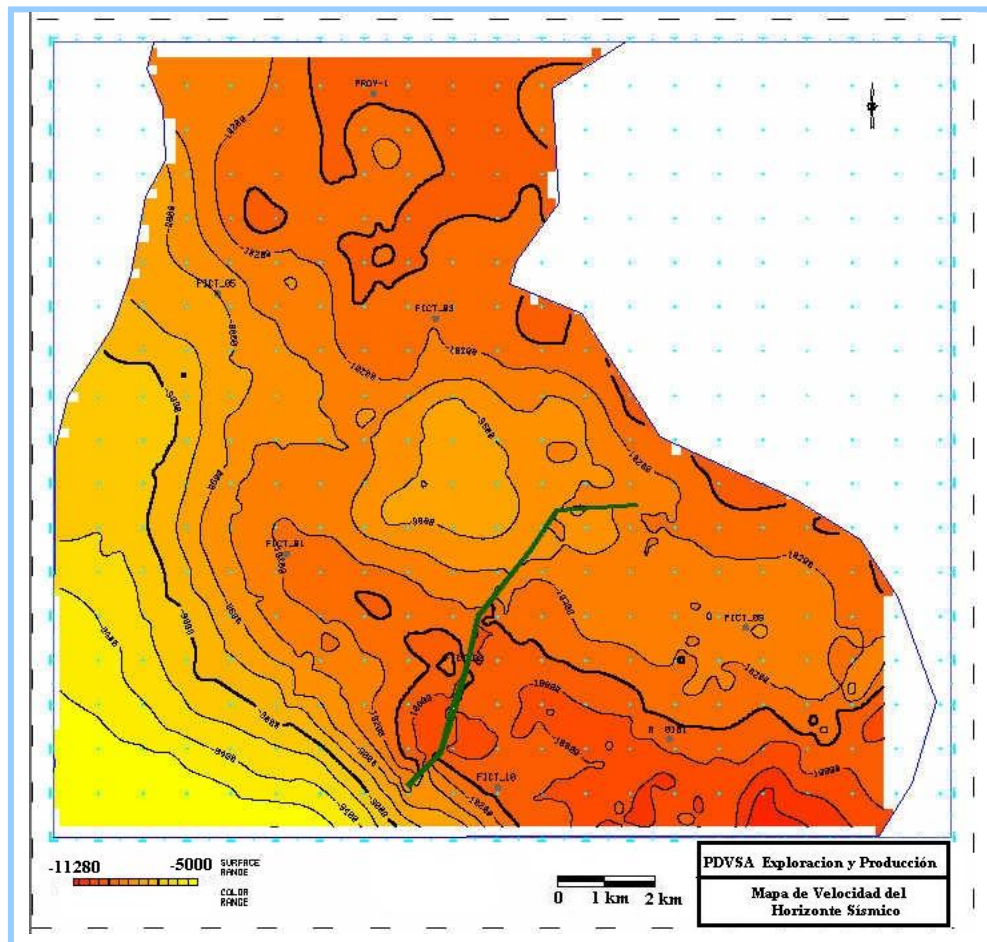


Figura F.1. Mapa de velocidad del Horizonte Sísmico

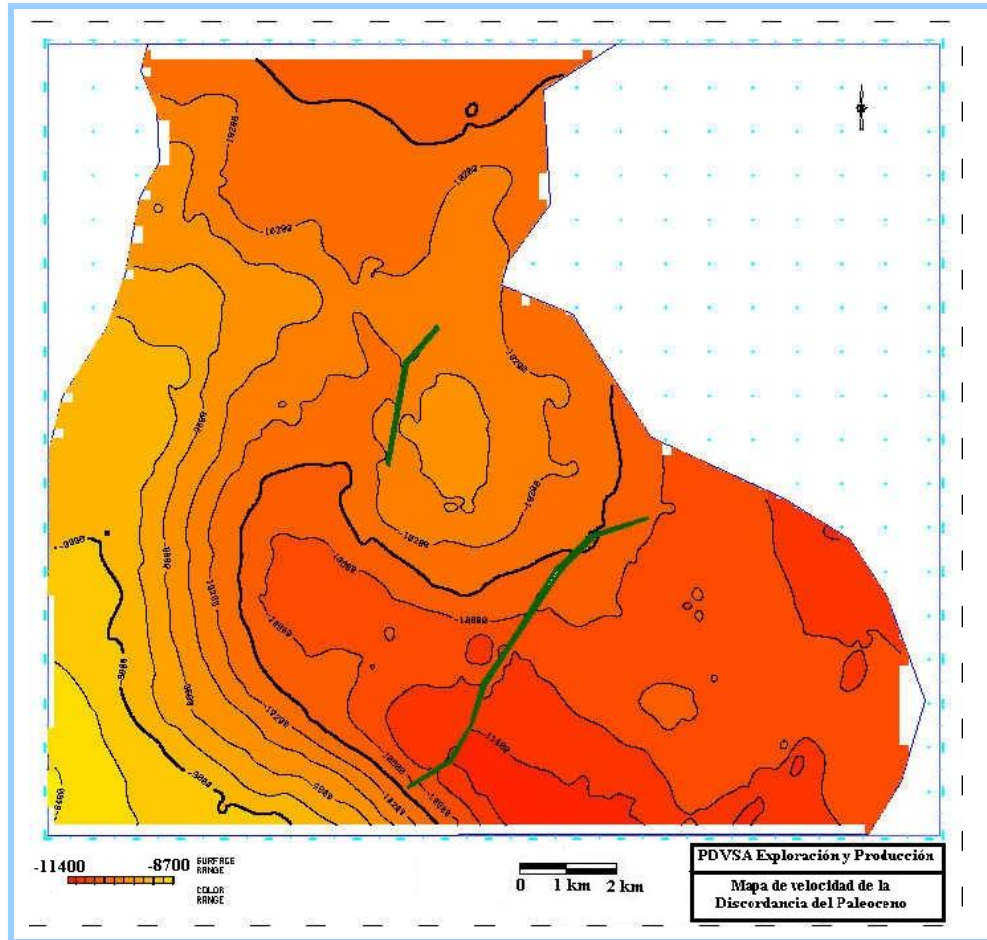


Figura F.2. Mapa de velocidad de la Discordancia del Paleoceno

ANEXO G

A continuación se presentan los mapas estructurales en profundidad de los 5 horizontes interpretados.

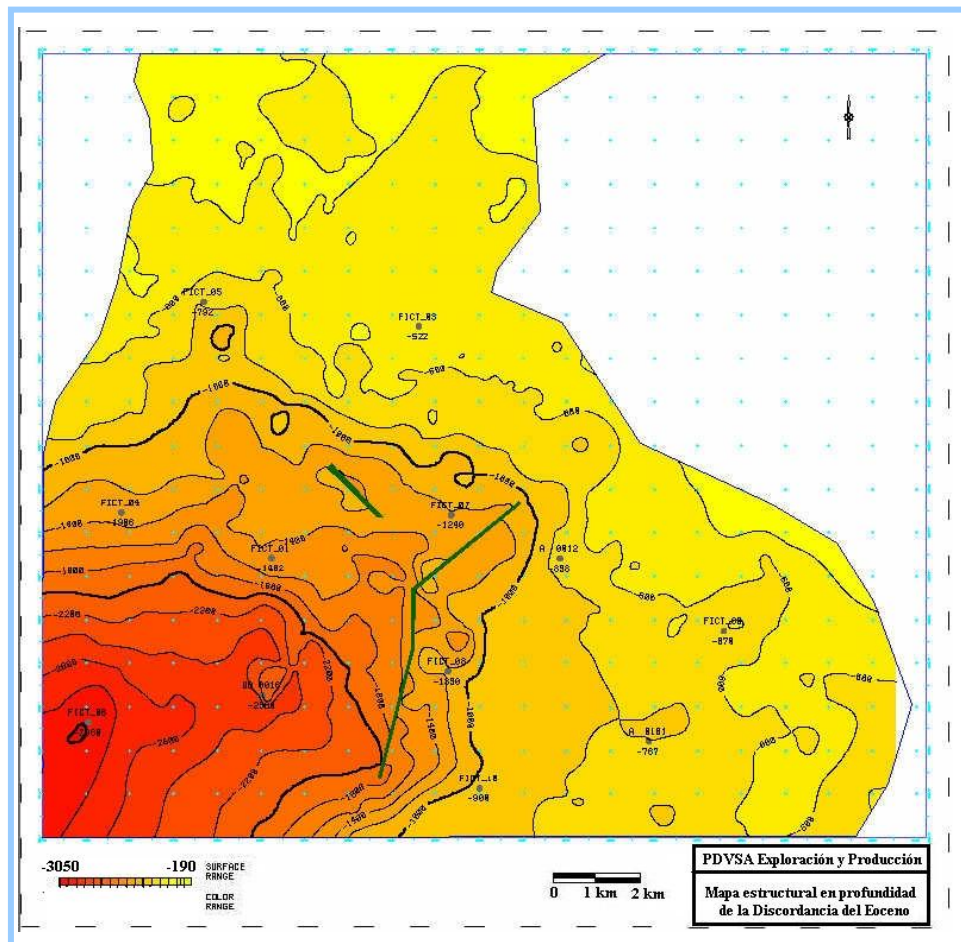


Figura G.1. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Eoceno

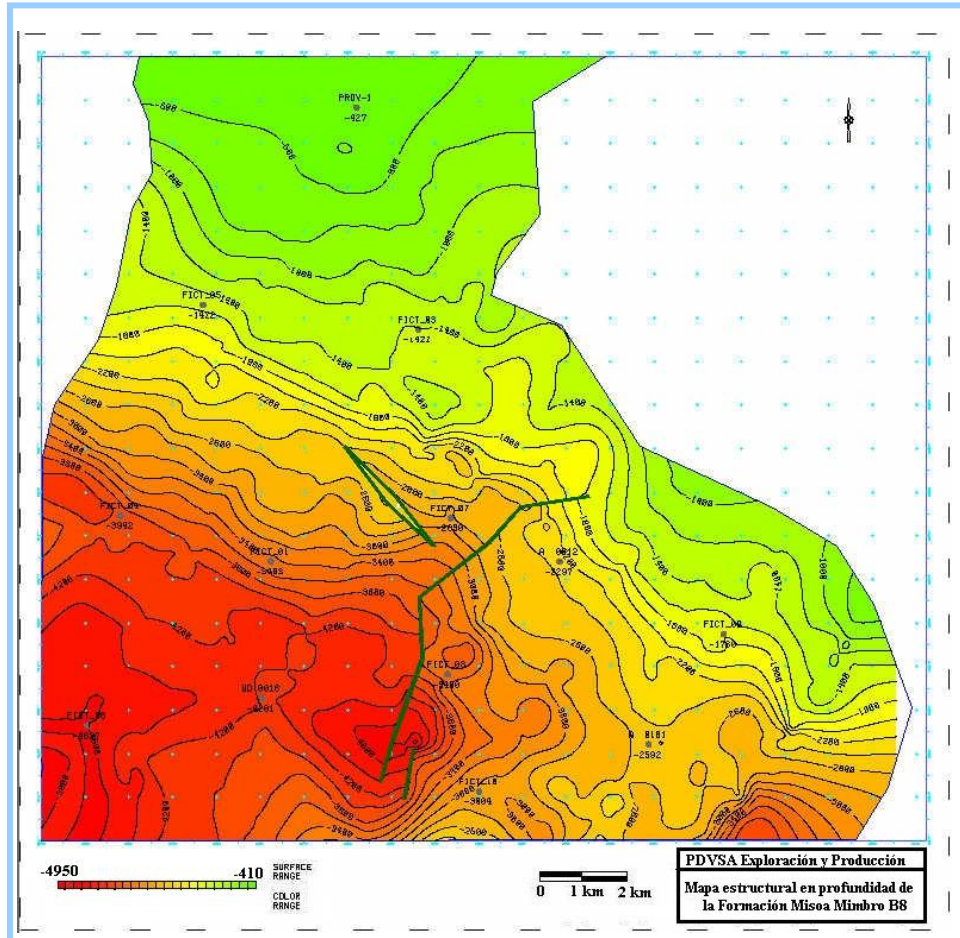


Figura G.2. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro B8

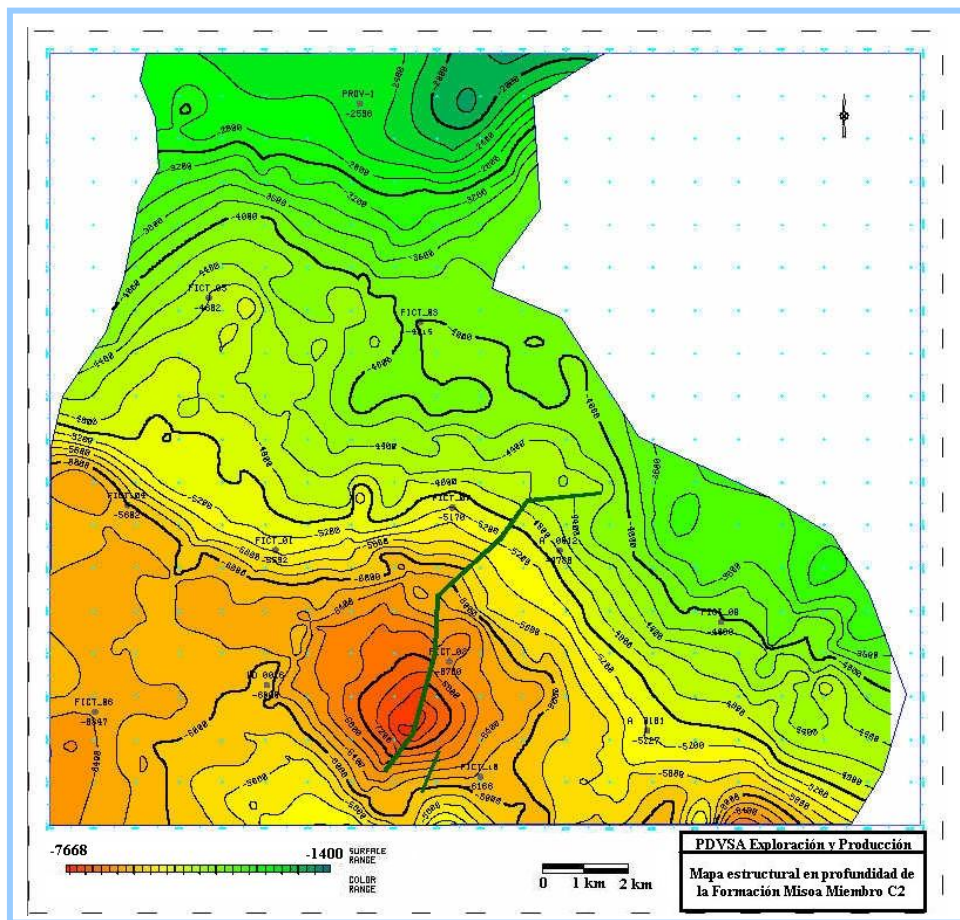


Figura G.3. Mapa estructural en profundidad de la Fm. Misoa Miembro C2

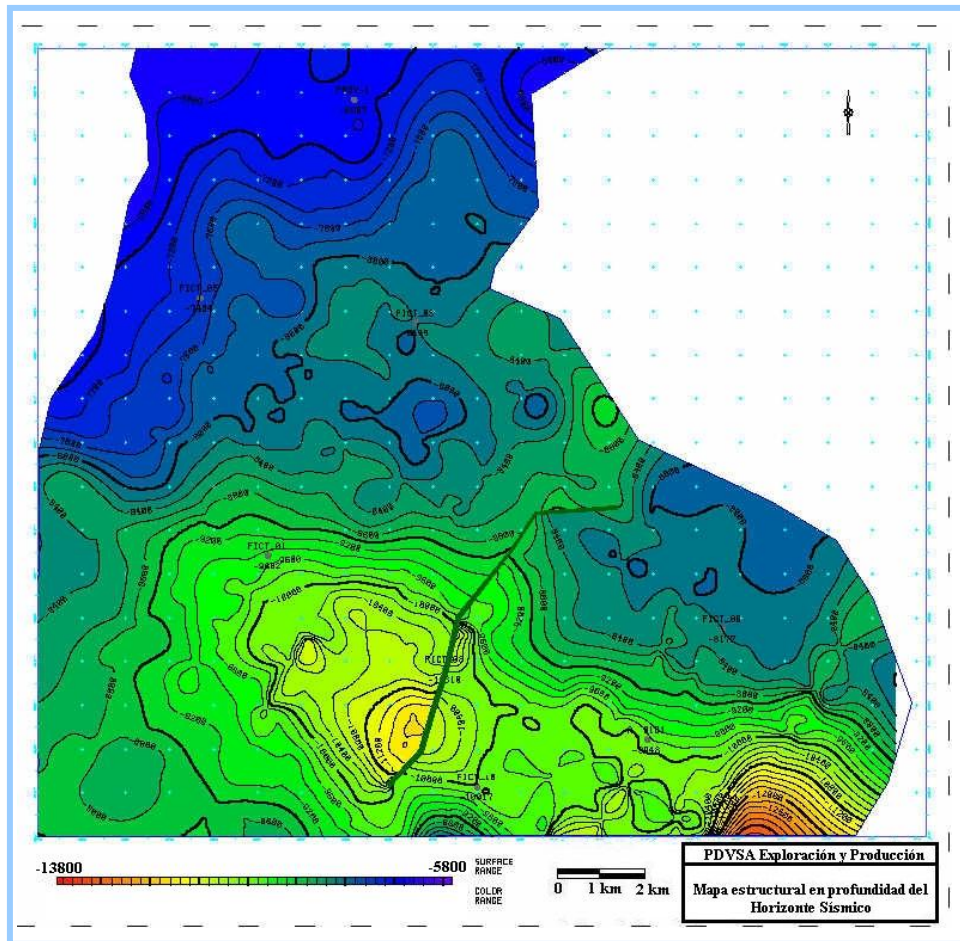


Figura G.4. Mapa estructural en profundidad del Horizonte Sísmico

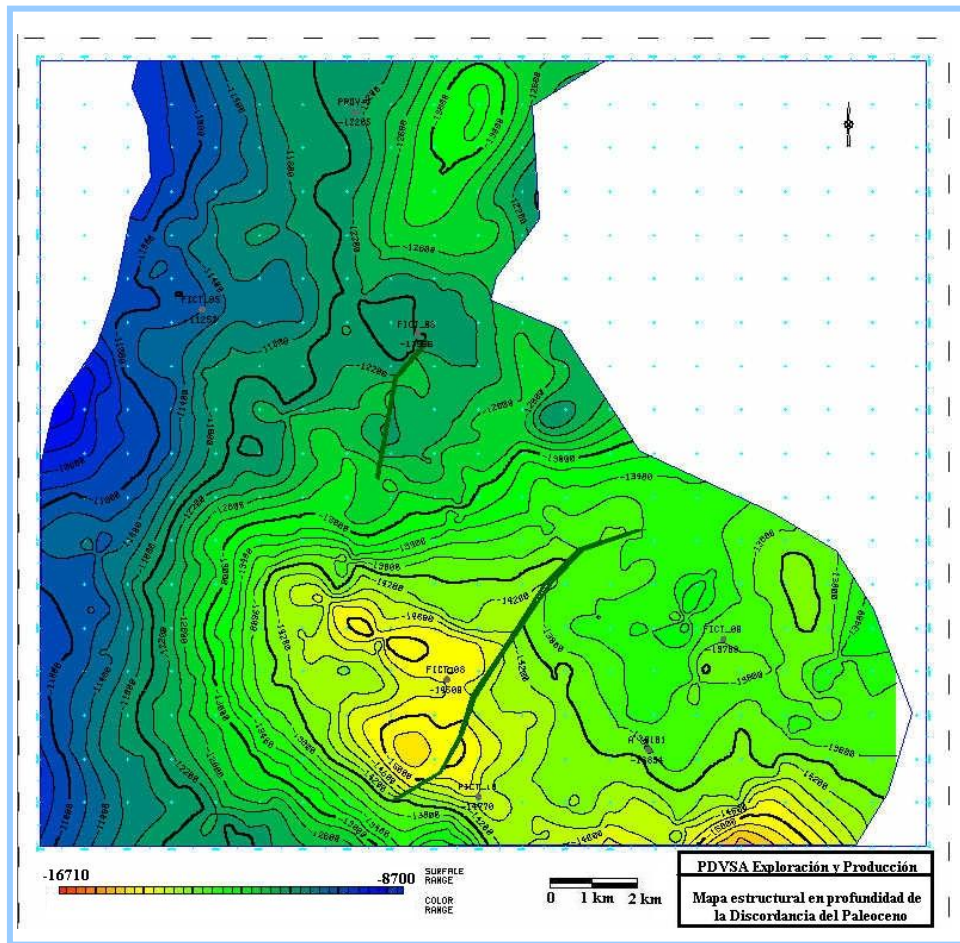


Figura G.5. Mapa estructural en profundidad de la Discordancia del Paleoceno