

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“MODELADO ESTRUCTURAL TRIDIMENSIONAL DEL BLOQUE JUNÍN  
2 DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Espaillat A, Francys D.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2008

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“MODELADO ESTRUCTURAL TRIDIMENSIONAL DEL BLOQUE JUNÍN  
2 DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Yaraixa Pérez**  
**TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Israel Graterol**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Espaillat A, Francys D.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico

Caracas, 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Francys Espaillat, titulado:

**“MODELADO ESTRUCTURAL TRIDIMENSIONAL DEL BLOQUE JUNÍN  
2 DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO”**

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

-----  
Prof. Jurado. Lenín González

-----  
Prof. Jurado. Adriana González

-----  
Prof. Yaraixa Pérez  
Tutor académico

-----  
Ing. Israel Graterol  
Tutor Industrial

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen del Valle por darme fuerza en el camino y por tener todos los medios para la realización de este Trabajo Especial de Grado y de esta carrera completa.

A quienes me dieron esta oportunidad: Hugo Espaillat y Belkis de Espaillat y a mis hermanos Julio, Hugo y Landis, todos por su gran apoyo y por ser siempre fuente de amor y excelentes consejos. A Fernando Sánchez por su apoyo moral en todo momento.

A PDVSA – INTEVEP por su financiamiento en la realización de este trabajo.

A Israel Graterol y Yaraixa Pérez por brindarme su tiempo, conocimiento y ayuda en la interpretación sísmica y por sus buenas recomendaciones. A Carlos Márquez por su ayuda en la ampliación de mi conocimiento. A Andrés Espeso por sus acertados consejos y tiempo dedicado, a Ann Marie Mezones y Juan Carlos Suárez por su ayuda incondicional en la geología. A Isaías Castillo por la información brindada y su ayuda con las velocidades, a Yennifer García y Martha Martínez por su amistad en el recinto de trabajo y finalmente a la “Familia paralela” y al grupo Merekentengue por estar siempre pendientes. ☺

**Espaillet A., Francys D.**

**MODELADO ESTRUCTURAL TRIDIMENSIONAL DEL BLOQUE JUNÍN 2  
DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO**

**Tutor Académico: Prof. Yaraixa Pérez. Tutor Industrial: Ing. Israel Graterol.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y  
Geofísica. 2008, 98 pp.**

**Palabras claves:** Faja Petrolífera del Orinoco, Interpretación estructural, Sísmica 2D.

**Resumen.** Este trabajo fue realizado en el bloque Junín 2 de la Faja Petrolífera del Orinoco, localizado en la zona Suroeste del área Junín, limitado al Oeste por el área Boyacá; el propósito fundamental fue realizar el modelado estructural tridimensional del bloque a partir de la interpretación estructural de sísmica 2D en la secuencia Cretácico – Terciario. Primeramente se realizó el control de calidad de los datos sísmicos para verificar su confiabilidad. Se realizaron los sismogramas sintéticos de los pozos NZZ0045, IZZ0093 e IZZ0094, donde el mejor ajuste de correlación entre la sísmica y el pozo fue mayor del 60 % para el NZZ0045. Se interpretaron las fallas y los horizontes en tiempo correspondientes a los marcadores geológicos: Discordancia del Paleozoico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno Medio, a partir de esto se construyeron los mapas en tiempo de cada horizonte. Luego se trabajó con el modelo tridimensional donde se generaron las superficies en tiempo y se construyó el cubo de velocidades sísmicas para la conversión de superficies y fallas en tiempo a profundidad; por el tipo de información disponible (pozos con sus respectivas ubicaciones, marcadores geológicos, curvas de Tiempo – Profundidad y superficies en tiempo), el cubo de velocidades se construyó de manera estadística con la propagación de los valores de velocidad promedio de cada pozo en un volumen (cubo); este modelo de velocidad se corroboró con el error entre la profundidad de los topes geológicos del pozo IZZ0242 y los valores de las superficies en la localidad del pozo, resultando menor al 1%. Luego de generadas las superficies y fallas en profundidad se creó el mallado estructural que fue la base para originar la forma de las superficies en profundidad, en el software Petrel, según el modelo de fallas interpretado. El bloque Junín 2 se encuentra regido por los procesos tectónicos del Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, constituido por fallas de salto no mayor a 30 m, con orientación, en su mayoría, este – oeste que coincide con la orientación de grandes fallas como Carrizal ubicada al norte del bloque, y un alto estructural (Paleo Alto), de la Discordancia del Paleozoico hacia el sur del bloque, que tiene forma ovalada y elongada en la dirección este – oeste con evidencias de erosión en sus reflectores, el cual posee mayor gradiente en la dirección norte – sur. La secuencia Cretácico – Terciario se caracteriza por tener, en general, un buzamiento mayor hacia el norte, así como también por la presencia de acuñaamiento del Cretácico y el Oligoceno contra la Discordancia del Paleozoico y no concordancia del Mioceno Medio por encima del Oligoceno.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
CAPÍTULO	
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Localización del área de estudio.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación.....	5
II. MARCO GEOLÓGICO.....	6
2.1 Geología Estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela.....	7
2.1.1 Megasecuencia de Etapa Pre-rift.....	7
2.1.2 Megasecuencia de Etapa Rift.....	7
2.1.3 Mega secuencia de Margen Pasivo.....	8
2.1.4 Mega secuencia de Colisión Oblicua.....	9
2.2 Estratigrafía regional.....	9
2.2.1 Grupo Temblador (Cretácico).....	11

2.2.1.1	Formación Canoa (Aptiense - Albiense).....	11
2.2.1.2	Formación Tigre (Cenomaniense - Campaniense).....	11
2.2.2	Formación La Pascua (Terciario: Eoceno Superior).....	12
2.2.3	Formación Roblecito (Terciario: Eoceno Superior - Oligoceno).....	12
2.2.4	Formación Merecure (Terciario: Oligoceno - Mioceno Temprano).....	12
2.2.5	Formación Chaguaramas (Terciario: Oligoceno tardío a Mioceno Medio).....	13
2.2.6	Formación Oficina (Terciario: Mioceno Temprano a Medio).....	14
2.3	Síntesis tectonoestratigráfica de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	15
2.4	Características litológicas en la Faja del Orinoco...	16
2.5	Estructuras y tectónica de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	18
III.	MARCO TEÓRICO.....	20
3.1	Interpretación sísmica.....	20
3.1.1	Análisis de secuencias sísmicas.....	21
3.1.2	Análisis de registros de pozo.....	21
3.1.3	Sismograma sintético.....	21
3.1.3.1	Modelo del subsuelo.....	22
3.1.3.2	Tiempos de viaje.....	22
3.1.3.3	Coeficientes de reflexión.....	23
3.1.3.4	Ondícula.....	23

3.1.3.5	Modelo convolucional.....	23
3.1.4	Análisis de facies sísmicas.....	24
3.2	Entonamiento.....	24
3.3	Resolución.....	24
3.4	Definición de secuencias sísmicas y patrones de reflexión.....	25
IV.	MARCO METODOLÓGICO.....	27
4.1	Revisión bibliográfica.....	27
4.2	Control de calidad de los datos sísmicos.....	27
4.3	Construcción de sismogramas sintéticos.....	30
4.3.1	Estudio de las curvas de tiros de verificación sísmica.....	30
4.3.2	Construcción de la serie de reflectividad.....	31
4.3.3	Obtención de la ondícula para la convolución.....	31
4.3.4	Calibración sísmica – pozo.....	32
4.4	Resolución vertical de la sísmica.....	34
4.5	Interpretación estructural 2D.....	35
4.5.1	Interpretación de fallas.....	35
4.5.2	Interpretación de horizontes.....	36
4.6	Interpretación estructural 3D.....	37
4.6.1	Generación de superficies en tiempo...	38
4.6.2	Construcción del modelo de velocidad.....	38
4.6.2.1	Conversión de valores de velocidad promedio.....	39



4.6.2.2	Construcción de zona limitada de propagación.....	39
4.6.2.3	Propagación de la propiedad en la zona.....	39
4.6.2.4	Modelo de velocidad.....	41
4.6.3	Conversión de fallas y superficies en tiempo a profundidad.....	41
4.6.4	Construcción de mallado estadístico estructural 3D para las superficies.....	44
4.6.5	Generación de superficies en profundidad regidas por el mallado y edición de saltos de falla.....	47
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
5.1	Resolución vertical de la sísmica.....	52
5.2	Interpretación estructural.....	52
5.2.1	Interpretación de fallas.....	52
5.2.2	Interpretación de horizontes.....	54
5.3	Mapas de superficies en tiempo.....	61
5.4	Interpretación estructural 3D.....	66
5.4.1	Modelo de velocidad.....	66
5.4.2	Superficies en profundidad.....	67
5.4.3	Modelado geológico estructural 3D..	73
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICE.....	84

## LISTA DE TABLAS Y GRÁFICOS

TABLAS		Página
1.	Significado geológico de los patrones de reflexión según Mitchum (1977b).....	26
2.	Inventario de registros de pozo.....	28
3.	Curvas de tiro de verificación sísmica (TVS) asignada a cada pozo.....	31
4.	Comprobación del modelo de velocidad.....	41
5.	Resolución vertical calculada para la secuencia completa del Mioceno Medio a Discordancia del Paleozoico.....	52
6.	Mis-ties aplicados a las líneas sísmicas.....	87
GRÁFICOS		
1.	Curvas de tiempo profundidad de los pozos dentro y fuera de la zona de estudio.....	30
2.	Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo – profundidad, pozo IZZ0250.....	49
APÉNDICE		
3.	Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo – profundidad, pozo IZZ01031.....	89
4.	Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo – profundidad, pozo NZZ0045.....	89

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1.	Ubicación de los bloques de la Faja Petrolífera del Orinoco..	2
2.	Ubicación del bloque Junín 2.....	3
3.	Ubicación de líneas sísmicas 2-D.....	3
4.	Ubicación y extensión de la Cuenca Oriental y las dos subcuencas Guárico y Maturín.....	6
5.	Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental de Venezuela.....	10
6.	Patrones de reflexión.....	25
7.	Línea sísmica 2D JUN- 06E-01 perteneciente a la campaña de adquisición del año 2007.....	29
8.	Movimiento vertical aplicado al sismograma sintético para el ajuste con la sísmica.....	32
9.	Sismograma sintético del pozo NZZ0045.....	33
10.	Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 2007.....	34
11.	Interpretación de fallas en línea sísmica 2D JUN-06E-09.....	35
12.	Topes de pozo para la interpretación de horizontes en línea sísmica 2D JUN-06E-16A.....	36
13.	Pasos para la realización del modelado estructural 3D.....	37
14.	Pasos para la construcción del modelo de velocidad.....	38
15.	Valores de velocidad promedio discretos y continuos.....	40
16.	Edición de planos de falla en profundidad.....	42

17.	Edición de la superficie Cretácico en profundidad.....	43
18.	Mallado estadístico estructural regido por los planos de falla.....	45
19.	Mallado estadístico estructural regido por los planos de falla.....	46
20.	Puntos para modelar producto de la intersección de plano de falla con la superficie.....	47
21.	Distancia de extrapolación del horizonte alrededor del plano de falla.....	48
22.	Malla modificada por la edición de los saltos de falla.....	49
23.	Edición de saltos de falla y modificación de la superficie en la iteración.....	50
24.	Modelado de saltos de falla en zona de acuñamiento antes de iterar la superficie.....	51
25.	Mapa estructural de Venezuela, zona del Bloque Junín 2.....	53
26.	Sección sísmica 2D JUN-06E-15 con horizontes y fallas interpretados.....	55
27.	Sección sísmica 2D JUN-06E-15 con reflectores fuertes suprayacentes a topes geológicos interpretados.....	56
28.	Extensión del horizonte Oligoceno interpretado.....	57
29.	Correspondencia de la interpretación 2D con el registro de rayos gamma de los pozos IZZ0093 e IZZ0094 en línea JUN-06E-36.....	58
30.	Evidencias de terminación onlap en las secuencias sísmicas.	59
31.	Paleo Alto en la zona Sur del bloque Junín 2.....	60
32.	Mapa de la superficie Discordancia del Paleozoico en Tiempo.....	62
33.	Mapa de la superficie Cretácico en tiempo.....	63

34.	Mapa de la superficie Oligoceno en tiempo.....	64
35.	Mapa de la superficie Mioceno Medio en tiempo.....	65
36.	Histograma de valores de velocidad promedio en el cubo de velocidad.....	66
37.	Cubo de velocidad promedio.....	67
38.	Superficie Discordancia del Paleozoico en profundidad.....	69
39.	Superficie Cretácico en profundidad.....	70
40.	Superficie Oligoceno en profundidad.....	71
41.	Superficie Mioceno Medio en profundidad.....	72
42.	Vista de planta de las estructuras (fallas) del Bloque Junín 2.	74
43.	Modelado Geológico estructural 3D del bloque Junín 2 de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	75
APÉNDICE.....		84
44.	Foto satelital de la ubicación del Bloque Junín 2.....	85
45.	Mapa toponímico del Bloque Junín 2.....	86
46.	Sección en la subcuenca de Maturin, división en provincias Este y Oeste.....	87
47.	Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 1975.....	89
48.	Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 1982.....	89
49.	Pozo NZZ0045 con mejor coeficiente de correlación en el sismograma sintético.....	91
50.	Ubicación de pozos con curva TVS en la zona.....	92

51.	Mapa de la superficie Discordancia del Paleozoico en tiempo.....	93
52.	Mapa de la superficie Cretácico en tiempo.....	94
53.	Mapa de la superficie Oligoceno en tiempo.....	95
54.	Mapa de la superficie Mioceno Medio en tiempo.....	96
55.	Sismograma sintético del pozo IZZ0093.....	97
56.	Sismograma sintético del pozo IZZ0094.....	98

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Introducción

Actualmente en Venezuela se desarrolla el Proyecto Orinoco Magna Reserva, el cual se encuentra contemplado en el Plan Siembra Petrolera 2005-2012 por Petróleos de Venezuela, y cuyos objetivos son cuantificar y certificar las reservas de hidrocarburo en la Faja Petrolífera del Orinoco en un área aproximada de dieciocho mil doscientos veinte kilómetros cuadrados (18220 km<sup>2</sup>), divididos en 27 bloques y organizados en cuatro extensas áreas: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo.

La Faja Petrolífera del Orinoco es una de las áreas de acumulación de reservas de petróleo más importante en el mundo y por esta razón existe el interés por parte de PDVSA, de conocer su desarrollo estructural y estratigráfico, y buscar mejoras en la producción de hidrocarburos para beneficio del país y su rentabilidad de explotación.

El área de Junín, donde se encuentra el bloque de estudio, está dividida en 11 bloques localizados en la parte Centro-Occidental de la Faja; tres que estudia PDVSA y ocho que desarrolla de manera conjunta con estatales petroleras Europeas (España, Francia), Orientales (India, Vietnam y China), entre otros.

El bloque de interés para la realización de este Trabajo Especial de Grado es Junín 2, que abarca un área de aproximadamente 552 km<sup>2</sup> y se localiza en la zona Suroeste del área Junín. El mismo está limitado al Oeste por el área Boyacá con el Río Iguana. Este bloque carece de interpretación estructural y su información dada por sísmica en años anteriores es muy poca, ahora ha sido cubierto con sísmica 2D

adquirida recientemente, de donde surge la necesidad de la construcción de un modelo tridimensional estructural que caracterice dicho bloque.

## 1.2 Localización del área de estudio

El área Junín se encuentra en el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, desde la parte suroeste del Estado Guárico hasta la zona sureste del Estado Anzoátegui, en la parte Centro-Occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco. Está delimitada al norte por el Campo Barso y al sur por el Río Orinoco, al este por el área Ayacucho y al oeste por el área Boyacá, (figura 1).

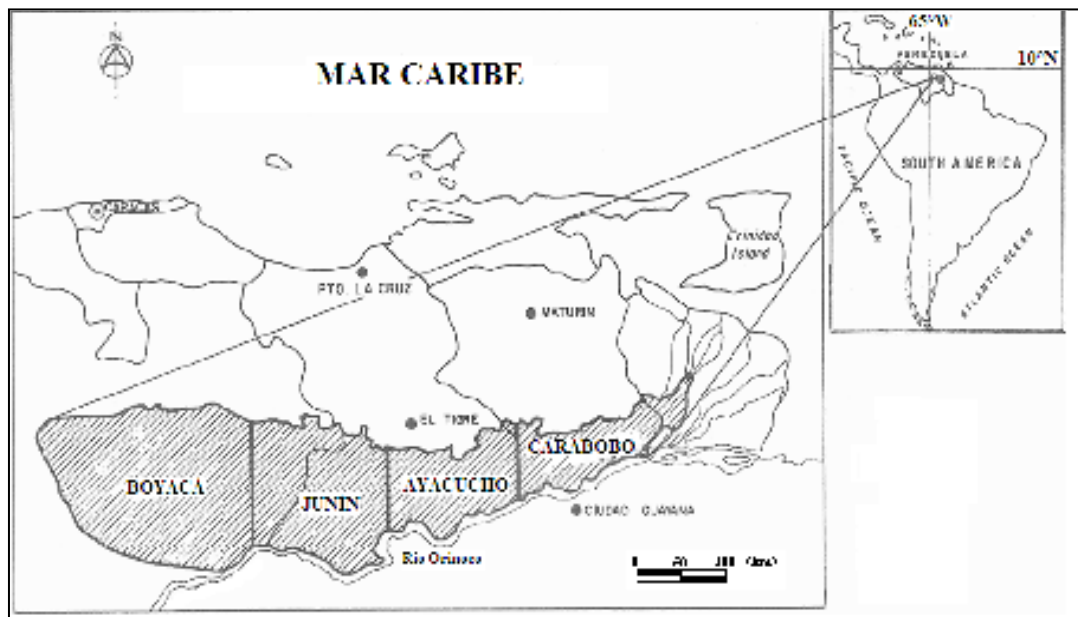


Figura 1. Ubicación de los bloques de la Faja Petrolífera del Orinoco. (Modificado de Talwani, 2002).



El bloque Junín 2 de la Faja Petrolífera del Orinoco, está localizado en la zona suroeste del área Junín, limitado al oeste por el área Boyacá con el Río Iguana (figura 2). La interpretación se realizará en un total de 45 líneas 2D como se puede observar en la figura 3, pertenecientes a tres campañas de adquisición realizadas en los años 1975, 1982 y 2007.



Figura 2. Ubicación del bloque Junín 2

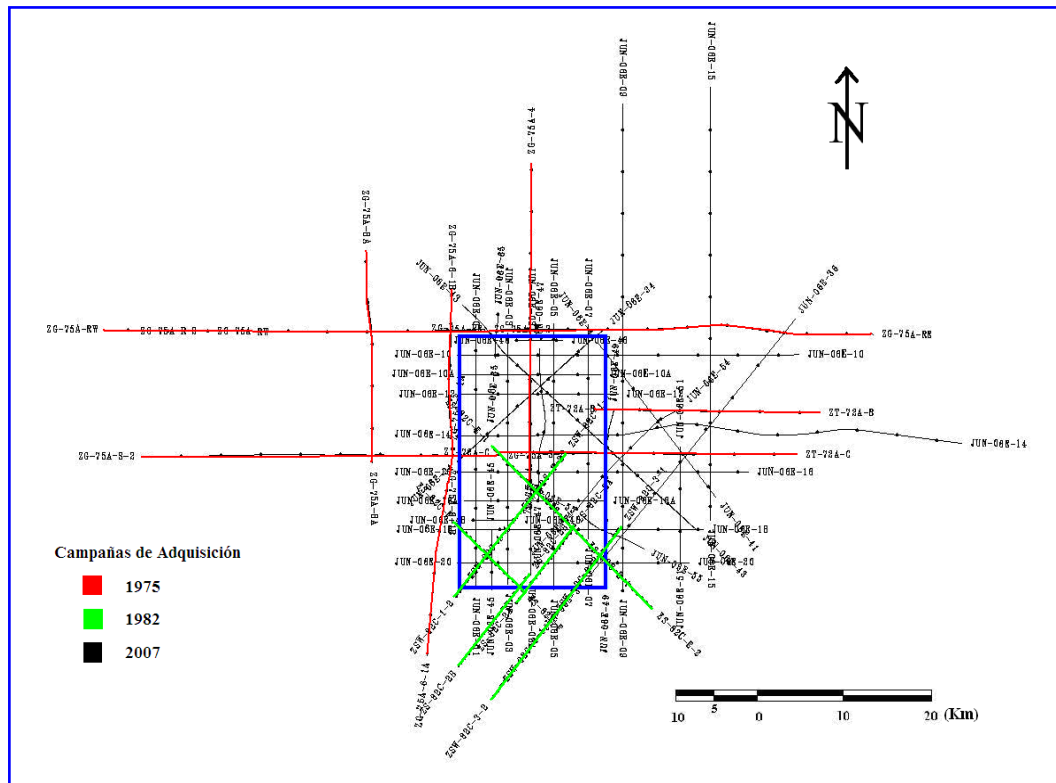


Figura 3. Ubicación de líneas sísmicas 2D

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el modelado estructural tridimensional del Bloque Junín 2 en el área de Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco a partir de la interpretación estructural de sísmica 2D.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- (a) Realizar la calibración sísmica – pozo que permita establecer una adecuada correlación entre los eventos sísmicos y geológicos.
- (b) Interpretar los horizontes sísmicos y las fallas asociados a la secuencia Cretácico – Terciaria.
- (c) Generar mapas de superficie de los horizontes interpretados en tiempo.
- (d) Construir el modelo de velocidades.
- (e) Convertir el dominio tiempo a profundidad en horizontes y fallas de las secciones sísmicas.
- (f) Modelar planos de falla.
- (g) Generar el mallado estructural previo a la construcción del modelado tridimensional.
- (h) Editar y ajustar las superficies en la construcción del modelado tridimensional.

## **1.4 Justificación**

Este Trabajo Especial de Grado será beneficioso para la empresa petrolera venezolana debido al aporte de información estructural del Bloque Junín 2 que cumplirá con la certificación y cuantificación de las reservas petrolíferas de la Faja del Orinoco, y disminuirá la incertidumbre para la caracterización de yacimientos en la zona; así mismo, disminución del riesgo de exploración y perforación, con mejoras en la recuperación del hidrocarburo e incremento en la extracción de los mismos, lo cual se traduce en una gran ayuda económica para el país.

Será un aporte en información a nivel de estudios integrados de yacimientos, así como también, fuente de información metodológica para la realización de interpretación sísmica 2D y modelado estructural en futuros trabajos.

## CAPÍTULO II

### MARCO GEOLÓGICO

Como se observa en la figura 4, la Cuenca Oriental de Venezuela comprende los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, la extensión meridional del estado Sucre y el Delta Amacuro, prolongándose mar adentro hacia la Plataforma Deltana y el sur de Trinidad, cubre un área de 170.000 km<sup>2</sup> y se encuentra limitada por el Río Orinoco al sur, al oeste por el Arco El Baúl, al norte por la Serranía del Interior Central-Oriental (González de Juana et al., 1980).



**Figura 4. Ubicación y extensión de la Cuenca Oriental y las dos subcuencas Guárico y Maturín. Tomado de Bochkarev, et al., (2007).**

Esta cuenca es una depresión topográfica asimétrica, con un flanco Sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte que, según Reina (2002), muestra mayores evidencias de procesos tectónicos causados por su evolución dinámica. Estas diferencias estructurales permiten dividir la Cuenca Oriental en dos

subcuencas: la de Guárico, asociada al flanco de deformación hacia el norte, evidenciando una gran complejidad tectónica; y la subcuenca de Maturín, que presenta acuñaientos de las unidades estratigráficas y deformaciones estructurales que definen dos dominios, uno al norte y otro al sur del Corrimiento de Pirital (Schlumberger, 1997).

## **2.1 Geología Estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela**

Según Talwani (2002), hay cuatro eventos principales que definen la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela. Estos son:

### **2.1.1 Megasecuencia de etapa Pre-rift**

Esta etapa se desarrolla durante el Paleozoico. Las secuencias sedimentarias que se depositaron durante el transcurso de este período, como lo son las formaciones de Hato Viejo y Carrizal, se caracterizan por ser de ambientes neríticos y costeros (Parnaud et al., 1995).

### **2.1.2 Megasecuencia de etapa Rift**

Al separarse Norteamérica de Gondwana, se crea un sistema extensional en el margen norte de Suramérica. Este sistema ocurre en el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, y separa Yucatán de la Placa Suramericana. La evidencia de este proceso se encuentra en la base de la Cuenca Oriental, y es representada por los basaltos y capas rojas de edad Jurásico Medio-Temprano (Formación Ipire), depositadas en el Graben de Espino. Los sedimentos sinsedimentarios depositados en este período son de poca relevancia para la generación y acumulación de hidrocarburos. Se sugiere que este rift no está asociado a grandes adelgazamientos de la corteza o a grandes subsidencias, más bien se sugiere un sistema de fallas rumbo – deslizantes o transformantes como actividad tectónica durante la separación. (Talwani, 2002).

Del Barremiense al Albiense: inicio de la transgresión cretácica dirigida de norte a sur y desarrollada sobre la plenillanura precretácica. La transgresión es típicamente oscilante y las oscilaciones alcanzan gran amplitud, pero en todo caso se conservan ambientes más marinos hacia el norte y más continentales hacia el sur. Sedimentación preferente de calizas y areniscas en el flanco norte de la serranía actual – Formación Barranquín – y disminución de sedimentos marinos hacia el flanco sur de la misma. La sedimentación primitiva fue seguida por calizas espesas y lutitas en el flanco norte – formaciones Borracha y Chimana – e intercalaciones de caliza, arenisca y lutita en el flanco sur – Formación el Cantil, extensión de las aguas hacia el sur, donde la sedimentación predominante es continental – Formación Canoa (González de Juana et al., 1980).

### **2.1.3 Mega secuencia de margen pasivo**

Del Cenomaniense-Coniaciense: máxima cobertura marina y desarrollo de ambientes euxínicos en el norte – Formación Querecual. Al igual que La Luna en el Lago de Maracaibo, esta formación es una posible roca madre de petróleo. Hacia el sur se extienden ambientes marino-costeros, gradualmente más terrígenos hacia el extremo sur; más al norte y noroeste se encuentra la Formación Tigre, la cual presenta calizas fosilíferas – Miembro Infante (González de Juana et al, 1980).

Esta fase se caracteriza por la subsidencia pasiva en el margen norte de Sur América, del Jurásico Tardío o Cretácico Temprano al Eoceno. Durante este tiempo 3 o 4 km de rocas marinas clásticas – incluyendo unidades carbonáticas delgadas del Cretácico Temprano – fueron depositadas. Esta fase es notable por la depositación de material orgánico de las unidades Querecual y San Antonio, las cuales son la roca fuente del petróleo pesado (Talwani, 2002).

#### **2.1.4 Mega secuencia de colisión oblicua**

Ocurre durante el Oligoceno. En esta etapa se genera una cuenca antepaís como consecuencia de la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana.

Desde el Oligoceno hasta el Mioceno Tardío, la colisión migra progresivamente hacia el este, dividiendo la cuenca antepaís en tres áreas principales: una correspondiente a la zona de plataforma, ubicada al sur (desde Cerro Negro hasta Oritupano); otra correspondiente al “Foredeep” ubicada en la zona central (desde Acema - Casma a Pirital); y la tercera, ubicada al norte, correspondiente al corrimiento (norte de la Falla de Pirital). Durante el Plioceno - Pleistoceno los depósitos del “Foredeep” pertenecen a las formaciones La Pica y Las Piedras, de ambientes marinos someros (Parnaud et al., 1995).

### **2.2 Estratigrafía regional**

La Cuenca Oriental de Venezuela está conformada por las Formaciones Mesa, Las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, Grupo Temblador, Carrizal y Hato viejo, el basamento está compuesto por gneises graníticos altamente plegados al norte, (figura 5).





## **2.2.1 Grupo Temblador (Cretácico)**

Está compuesto por las formaciones Canoa y Tigre. Se localiza en el sur de los estados Monagas y Anzoátegui.

### **2.2.1.1 Formación Canoa (Aptiense - Albiense)**

Se localiza en el subsuelo de la región meridional, central y parte septentrional de los estados Monagas, Anzoátegui y Guarico. Consiste en conglomerados de grano fino y areniscas de grano grueso, limolitas y arcilitas de colores claros que contienen restos de plantas. El espesor aproximado es de 100 m . El contacto suprayacente con la Formación Tigre es diacrónico, transicional y marca un cambio de facies continental a facies predominantemente marinas (Paterson y Wilson, 1953). Kiser (1987) describió a la Formación Canoa en el área de Boyacá como predominantemente arenas fluviales masivas, no consolidadas.

### **2.2.1.2 Formación Tigre (Cenomaniense - Campaniense)**

Es una secuencia de areniscas masivas y limonitas de grano fino, glauconíticas grisáceas y gris verdosas, lutitas carbonáceas y fosfáticas, intercalaciones de capas delgadas de calizas dolomíticas de color gris, con frecuencia fosilíferas y glauconíticas. Se sitúa en el subsuelo sur, centro y parte norte de los estados Monagas, Anzoátegui y Guárico. Presenta un espesor aproximado de 200 m . El contacto superior con la Formación Merecure es de carácter erosional y discordante (Paterson y Wilson, 1953).

Según González de Juana et al. (1980), del Paleoceno al Eoceno Medio el levantamiento de las masas metamórficas hacia el sur de una extensa cuenca ancestral donde se depositaron sedimentos del Ciclo Terciario Inferior, muestra durante el

Paleoceno sedimentación de la plataforma en el borde meridional del talud continental que alcanzó mas de 1000 m de paleoprofundidad.

### **2.2.2 Formación La Pascua (Terciario: Eoceno Superior)**

Según González de Juana et al (1980), se presenta hiatus post-Eoceno medio y levantamiento en la parte norte de la cuenca. Sedimentación transgresiva en Guárico de la Formación La Pascua, según LEV (1997) constituye un clástico basal asociado con la transgresión marina sobre una amplia extensión del norte de Venezuela durante el Eoceno Tardío-Oligoceno, de aguas someras procedentes de la Cuenca de Barinas, seguida de un cuerpo lutítico de aguas marinas someras y tranquilas.

### **2.2.3 Formación Roblecito (Terciario: Eoceno Superior - Oligoceno)**

La Formación Roblecito, Patterson y Wilson (1953) la describen como la continuación de la depositación iniciada por la Formación La Pascua y predominantemente, una unidad de lutita marina que es transicional con las areniscas transgresivas de La Pascua y gradacional hacia arriba con las areniscas y lutitas menos marinas de la Formación Chaguaramas; la transgresión progresa hacia el este.

### **2.2.4 Formación Merecure (Terciario: Oligoceno - Mioceno Temprano)**

Se ubica geográficamente en el subsuelo de la Subcuenca de Maturín al sur del frente de deformación y en el Campo de Anaco. Está definida como arenisca de color gris claro a oscuro, masivo, mal estratificado y muy lenticular, duro, de grano fino a grueso, que conforman aproximadamente el 50% de la formación. Presentan estratificación cruzada con variabilidad de porosidad y permeabilidad. Están

intercaladas por láminas delgadas de lutitas de color gris oscuro a negro, carbonáceas irregularmente laminadas, con algunas arcilitas ferruginosas y ocasionales lignitos (Paterson y Wilson, 1953).

La secuencia sedimentaria tiene un espesor aproximado de 530 m observándose hacia la parte sur un adelgazamiento en la formación hasta acunarse por debajo de la Formación Oficina, en los límites sur del Área Mayor de Oficina (Funkhouser et al, 1948). Se presume que el contacto suprayacente de la Formación Merecure con la Formación Oficina es concordante, sin embargo al noreste de Anzoátegui subyace discordante a la Formación Las Piedras y concordante a la Formación Capaya, hacia el oeste pasa por transición lateral a la parte inferior de la Formación Chaguaramas; el contacto inferior de la unidad, a pesar de la aparente concordancia sobre la Formación Caratas, representa un Hiatus (Funkhouser et al, 1948).

#### **2.2.5 Formación Chaguaramas (Terciario: Oligoceno Tardío a Mioceno Medio)**

Patterson y Wilson (1953) describieron la formación como básicamente una secuencia de arenisca-lutita-lignito. En general, la litología de la Formación Chaguaramas, consiste de una alternancia de areniscas, lutitas y lignitos de agua salobre, con desarrollos locales de arcillas de agua fresca y conglomerados de guijarros arcillosos similares a los de la Formación Quiamare. Mencionaron espesores de 500-890 m en los Campos petroleros del Área Mayor de Las Mercedes, notando que el espesor original en la cuenca pudiera haber llegado a 3.050-4270 m en Guárico norte. Fasola *et al.* (1985) reportaron espesores entre 390 y 1.650 m en los pozos estudiados.

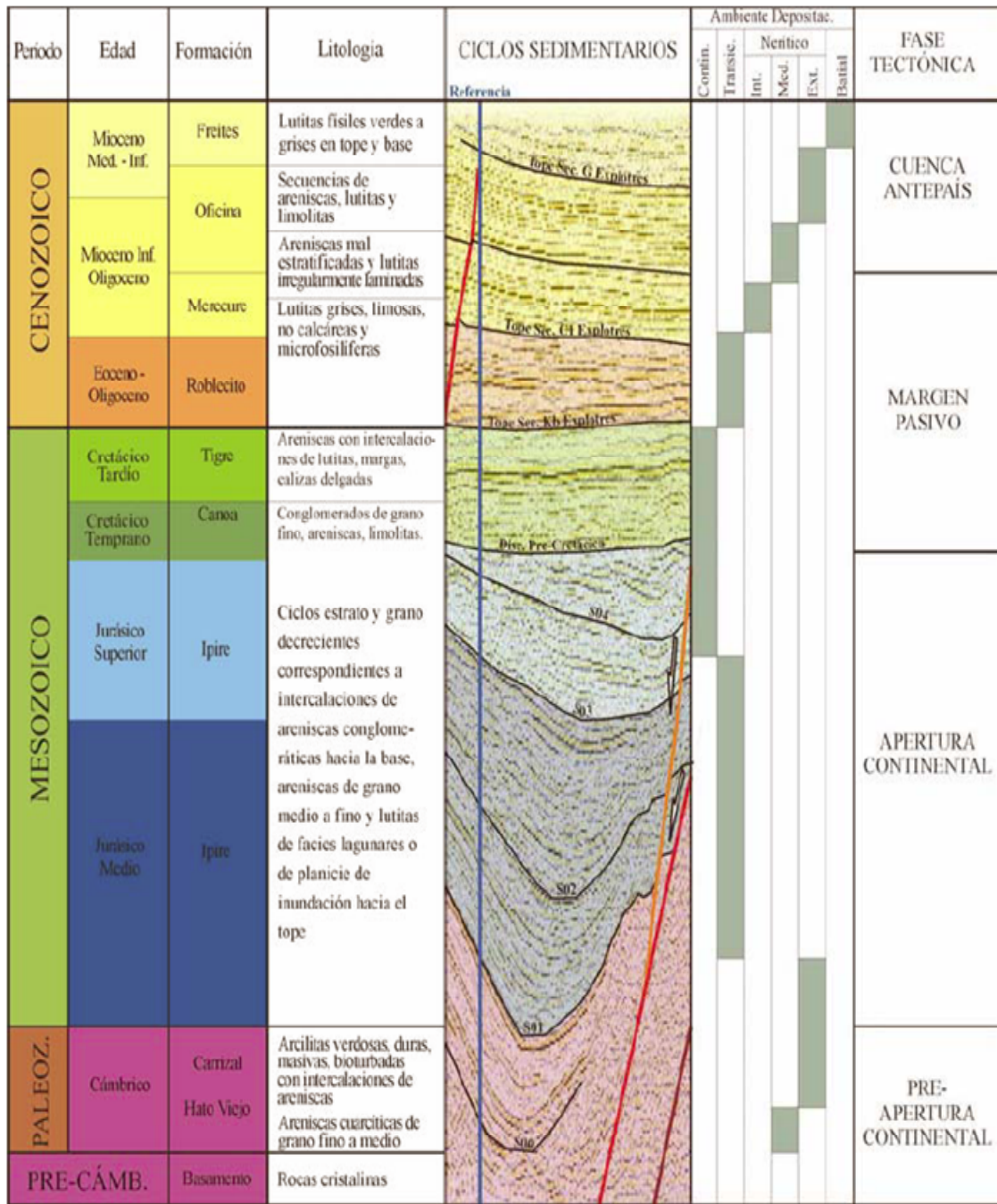
Isea (1987) menciona que el espesor máximo de la Formación Chaguaramas en las áreas Machete y Zuata, varía entre 183 y 244 m adelgazándose por erosión hacia el este y sur.

### **2.2.6 Formación Oficina (Terciario: Mioceno Temprano a Medio)**

Se extiende en el subsuelo de los estados Anzoátegui y Monagas. Aflora en la superficie de los domos de Santa Ana y San Joaquín y en las cercanías del Campo Cerro Pelado. Definida por Hedberg et al (1947) como intercalaciones de lutitas de colores grisáceos oscuro con areniscas y limolitas interestratificadas, de colores claros y granos de fino a grueso.

El contacto suprayacente de la Formación es concordante con la Formación Freites. También se sabe que la Formación Oficina pasa lateralmente a la Formación Carapita y a la parte media y superior de la Formación Chaguaramas (González de Juana et al, 1980).

### 2.3 Síntesis tectonoestratigráfica de la provincia oeste de la Faja Petrolífera del Orinoco



Columna tectonoestratigráfica integrada. (Tomado de Durán, 2007).

## 2.4 Características litológicas en la Faja del Orinoco

**Pre – Cretácico:** se encuentra restringido a las áreas de Boyacá y Junín y hacia el noroeste de Ayacucho; incluye las rocas de las formaciones Hato Viejo y Carrizal, de la edad Paleozoico y Jurásico respectivamente. En estas secuencias no se ha encontrado acumulaciones de petróleo (Isea, 1987).

**Cretácico:** se encuentra representado por los sedimentos del Grupo Temblador que incluye a las formaciones Tigre y Canoa, caracterizadas por arenas y lutitas negras, y limolitas glauconíticas respectivamente (Op. Cit.)

Según Isea (1987) se extiende como una unidad sedimentaria este - oeste desde el noreste de Carabobo hasta la sección este de Boyacá. De norte a sur la sección decrece en espesor hasta desaparecer por acuñaamiento o por erosión. El contacto superior del Cretácico es definido como una discordancia angular regional, la cual es normalmente dificultosa de reconocer por el contacto arena – arena con el Terciario.

**Terciario:** según Isea (1987) la columna sedimentaria del Terciario está representada por tres ciclos transgresivos del Oligoceno al Mioceno, la cual se estableció por investigación de palinomorfos. La distribución de los ciclos en el área fue establecida por correlaciones litoestratigráficas y se basó en un datum horizontal que constituye el pico de la segunda transgresión (Unidad II). Este datum corresponde al Mioceno Medio, determinado por la ocurrencia del *Globoratoria fohsi fohsi*. Los ciclos se definen en:

### **Primer Ciclo**

Este es el Ciclo Terciario más antiguo reconocido en el área y está restringido al Oligoceno (formaciones La Pascua, Roblecito y Chaguaramas). Se extiende sólo en

las zonas de Boyacá y en la parte noroeste de Junín con un grosor de 914 m . La Formación La Pascua es la fase transgresiva del ciclo y se restringe a la parte central del área Boyacá, la Formación Roblecito representa el punto de máxima transgresión, y la Formación Chaguaramas representa la parte superior del ciclo que corresponde al período regresivo ocurrido luego de Roblecito (Isea, 1987).

Según Isea (1987), el **Segundo y Tercer Ciclo** pertenecen al Mioceno y representan los ciclos más importantes de Terciario, los cuales dividen en cinco unidades litoestratigráficas:

### **Unidad I**

Es la de mayor importancia, ya que contiene la mayor parte de las acumulaciones de hidrocarburos. Es una unidad predominantemente arenosa y su distribución general presenta mayores espesores hacia el norte de Junín y Boyacá con un máximo de 300 m , progradando hacia facies más lutíticas. Hacia el sur se observa un adelgazamiento hasta desaparecer hacia el límite de la sedimentación.

### **Unidad II**

Es lutítica y representa el máximo de la transgresión del segundo ciclo y constituye el principal sello para las acumulaciones de petróleo que se encuentra en la unidad infrayacente. Se correlaciona en sentido este - oeste desde Carabobo hasta el norte de Ayacucho y Junín, mientras que hacia el Sur se extiende hasta el Río Orinoco.

### **Unidad III**

Es una secuencia arenosa, la cual evidencia el pico de la regresión del segundo ciclo en el Mioceno Medio. En las áreas de Carabobo y este de Ayacucho su espesor

se reduce hacia el sur como consecuencia de la erosión. Hacia el sureste de Ayacucho, Junín y Boyacá la unidad aflora mientras que en algunas partes está totalmente erosionada. En esta unidad no se han detectado acumulaciones de hidrocarburos de importancia.

#### **Unidad IV**

Representa la segunda transgresión del Mioceno, es predominantemente lutítica y corresponde a la Formación Freites. Su espesor aumenta gradualmente en la parte norte de Ayacucho y en el sur la secuencia transgresiva desaparece por adelgazamiento más no por erosión. Se considera de ambiente nerítico debido a la presencia de fauna marina y su carácter litológico.

#### **Unidad V**

Está constituida por arenas regresivas marinas que cubren concordantemente la unidad infrayacente y constituye la fase regresiva del Tercer Ciclo. Sólo está presente en la parte norte de Ayacucho, parte noreste de Carabobo y noreste de Junín, donde no fue afectada por la erosión Pre – Las Piedras. Los fósiles marinos y la glauconita se encuentran en algunas partes e indican carácter marino. Sin embargo los procesos sedimentarios aún no han sido bien establecidos.

### **2.5 Estructuras y tectónica de la Faja Petrolífera del Orinoco**

El sistema de falla de Hato Viejo divide a la faja petrolífera en dos provincias estructurales. Al oeste del sistema de falla, en una extensa sección de las áreas Boyacá y Junín, el Terciario yace de forma no concordante en secuencias delgadas de sedimentos del Cretácico y el Paleozoico, los cuales fueron depositados en una depresión estructural profunda. Al este del sistema de falla el Terciario yace sobre el



basamento Precámbrico ígneo – metamórfico del Escudo de Guayana (Talwani, 2002).

La Faja Petrolífera termina al oeste por el alto estructural Machete el cual está orientado en dirección noreste – suroeste. La Faja Petrolífera es una cantidad de bloques rígidos separados por fallamiento, lo cual se puede apreciar en la figura 46 de los anexos. Aquí no hay evidencia de plegamiento. En la provincia este las fallas, las cuales son de tipo normal – extensivo, poseen tres direcciones preferenciales: (1) una orientación este – oeste correspondiente al margen norte de la línea de bisagra de Hamaca (Carabobo) y Cerro Negro (Ayacucho), (2) N 60° - 70° E, una tendencia paralela a la dirección predominante de las rocas mas antiguas en el Escudo de Guayana y (3) N 30° - 45° W, una orientación prominente que refleja la tendencia topográfica del Pre-Terciario. En la provincia oeste la dirección predominante de fallamiento son este – oeste y noreste – suroeste. El promedio de salto vertical de las fallas es cercano a los 60 m a pesar de la orientación. Las trampas pueden ser acuñaientos estratigráficos o truncaciones estructurales. Las arenas asociadas con los meandros de los ríos que fluyeron al norte de la plataforma de Guyana a menudo sirven de yacimiento, las trampas son generadas por las fallas que intersectan a las lutitas de Carapita que a menudo son sellantes (Talwani, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Interpretación sísmica**

Según Liner (2004), el propósito básico de la interpretación sísmica es extraer toda la información geológica posible de los datos.

Una interpretación exitosa comienza con la validación de los datos sísmicos y con el conocimiento de aspectos geológicos como lo son: la tectónica de la región, las estructuras geológicas, la litología, la estratigrafía, el control a través de los registros de pozo, y estudios anteriores que amplíen el espectro de información, como por ejemplo: estudios sísmicos anteriores, datos gravimétricos y magnéticos, entre otros (Op. Cit).

Según Mitchum (1977), basados en criterios físicos, indica que en los Sistemas Encadenados y secuencias depositacionales poseen un patrón predecible que puede ayudar a la correlación cronoestratigráfica en estudio, disminuyendo la incertidumbre en la localización de yacimientos. Define un procedimiento para la interpretación sísmico-estratigráfica a nivel regional, el cual incluye los siguientes parámetros generales: análisis de secuencias sísmicas, análisis de registro de pozo, sismograma sintético, análisis de facies sísmicas y análisis del nivel del mar, que a continuación serán explicados:

### **3.1.1 Análisis de secuencias sísmicas**

Se definen las discontinuidades según los patrones de reflexión: toplap, onlap, downlap y truncación erosional, los cuales determinan los paquetes asociados a las secuencias sísmicas y a los sistemas encadenados. Se realiza el reconocimiento, correlación y determinación de edades geológicas de las secuencias sísmicas (Liner, 2004).

### **3.1.2 Análisis de registros de pozo**

Se determina el patrón de acomodamiento de las secuencias a partir de la interpretación de litofacies depositacionales en los registros de pozo calibrados con núcleos y secciones finas. Se utiliza la carta de ciclos globales, cronoestratigrafía, radiometría y la bioestratigrafía para la correlación entre pozos (Liner, 2004).

### **3.1.3 Sismograma sintético**

El propósito de la simulación 1D es crear una traza sintética de “offset” cero que, teóricamente, haya sido grabada en la posición del pozo, basados en los registros grabados del mismo. Dicha traza es el sismograma sintético (Liner, 2004).

Según Liner (2004) plantea una serie de supuestos para la elaboración de un sismograma sintético las cuales son:

- La fuente y el receptor coinciden en la localización del pozo.
- El buzamiento geológico es cero.
- El hoyo del pozo es vertical.
- Las lecturas de velocidad, profundidad y densidad son precisas.
- El campo de velocidad solo varía con la profundidad.

La metodología usada para calcular el sismograma sintético según Liner (2004) se pasa por alto la Ley de Snell, la cual explica que los rayos que viajan al subsuelo con un ángulo de incidencia respecto a la normal de la superficie, por lo que si la interfase buza, el rayo se alejará de la vertical del pozo; debido a esto considera difícil de concebir el supuesto de buzamiento geológico igual a cero. A continuación se explicará la metodología convencional aplicada por el autor anterior:

### **3.1.3.1 Modelo del subsuelo**

Para crear un sintético o convertir la información del pozo de profundidad a tiempo, es necesario conocer el modelo de velocidad en función de la profundidad. Este modelo puede venir de diversas fuentes (perfil sísmico vertical, registro sísmico, puntos de verificación sísmica y velocidades de procesamiento). También es necesario tener información de densidades del subsuelo en el pozo (RHOB). (Liner, 2004).

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

### **3.1.3.2 Tiempos de viaje**

La elaboración del sismograma sintético requiere del menor tiempo de viaje de las ondas sísmicas desde la fuente hasta el receptor (en este caso ubicados en el mismo punto), el cual se calcula con la ecuación general de la n-ésima interfase:

$$TWT_n = TWT_{n-1} + (2h_n/v_n)$$

Definiéndose los tiempos de reflexión asociados con cada una de éstas, lo cual, ubica los puntos en el eje del tiempo donde se realizarán los cálculos de

coeficiente de reflexión, para continuar con la construcción de la traza sintética (Op. Cit.).

### 3.1.3.3 Coeficientes de reflexión

Describe la amplitud de la onda reflejada respecto a la onda incidente y viene dada por la expresión:

$$R_o = (I_2 - I_1) / (I_2 + I_1) \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$I = \rho v$$

Donde I es la impedancia acústica. Al calcular  $R_o$  para cada interfase y asignarlo a su respectivo tiempo de viaje se obtiene la serie de reflectividad.

### 3.1.3.4 Ondícula

Liner (2004) indica que para la interpretación sísmica se recomienda el uso de ondículas fase cero por las siguientes razones:

- Son bastante agudas (semejante a un pulso) debido a que los lóbulos laterales han sido minimizados.
- Son simétricas por lo que se obtiene una resolución vertical óptima.
- Su amplitud pico se localiza en el centro de la ondícula.

### 3.1.3.5 Modelo convolucional

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

$$p(t) = w(t)*r(t) + n(t)$$

donde  $p(t)$  representa la traza sísmica,  $w(t)$  es la ondícula,  $r(t)$  es la serie de coeficientes de reflexión,  $n(t)$  es ruido y el asterisco (\*) denota la convolución. Esta ecuación es base fundamental de todos los estudios de interpretación sísmica, ya que con ella se define completamente la traza sísmica, y a la vez se obtiene la relación proporcional entre la amplitud de la traza y el coeficiente de reflexión.

### **3.1.4 Análisis de facies sísmicas**

Según Mitchum (1977a), trata el análisis de la configuración de los reflectores interpretados (incluyendo amplitud, continuidad, frecuencia, velocidades interválidas), como estratos dentro de secuencias depositacionales y sistemas encadenados para determinar el entorno y estimar litología, estratificación y características depositacionales de los sedimentos generando los ciclos.

## **3.2 Entonamiento**

Liner (2004) indica que el efecto de entonamiento es una anomalía de alta amplitud relacionada con el espesor de una capa, que ocurre cuando éste es un cuarto de la longitud de onda ( $\lambda/4$ ).

## **3.3 Resolución**

Liner (2004) hace énfasis en separar la resolución vertical y la horizontal, definiendo la primera como la habilidad de identificar picos individuales en una traza sísmica con el tope y la base de una unidad geológica, en cambio la última es la habilidad de ver eventos de pequeña escala (como canales) en mapas o secciones. También objeta que la máxima resolución vertical de la sísmica consiste en  $1/4$  de la longitud de onda, así como también, que la longitud de onda es la relación entre la

velocidad y la frecuencia ( $\lambda = v/f$ ) y que la resolución vertical puede ser calculada según la siguiente ecuación:

$$(Z_{\text{tun}} = V_{\text{in}} / (4f)) \quad (\text{Ecuación 2})$$

### 3.4 Definición de secuencias sísmicas y patrones de reflexión

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

Se dividen los tipos de terminaciones de reflectores en dos grupos, truncación erosional y toplap como discordancias al tope de la secuencia y downlap y onlap como discordancias de la base de la secuencia, (figura 6) (Op. Cit.).

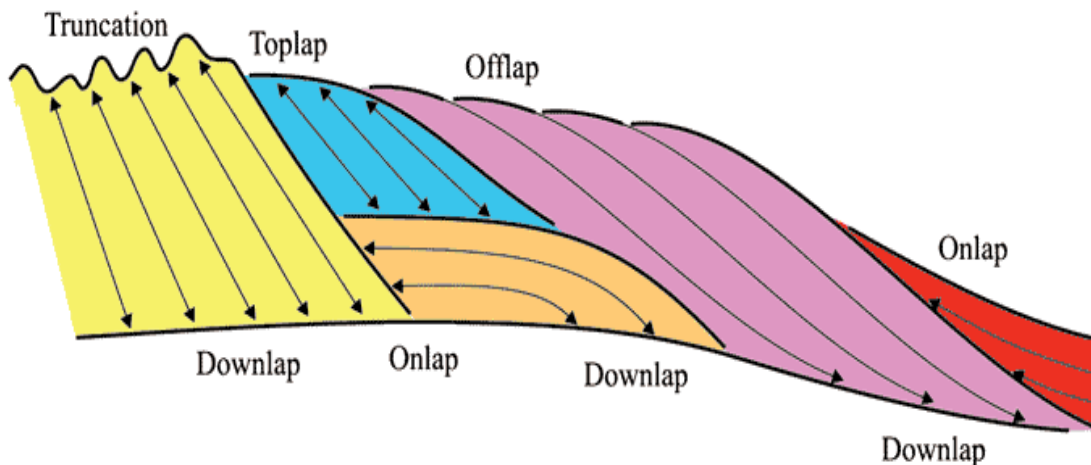


Figura 6. Patrones de reflexión. Tomado de Mitchum (1977a).

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

Tabla 1. Significado geológico de los patrones de reflexión según Mitchum (1977b).

Terminación	Significado geológico
Onlap	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agradación</li> <li>▪ Transgresión</li> </ul>
Donwlap	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Progradación</li> </ul>
Truncación erosional	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hiatus sedimentario</li> <li>▪ Progradaciones deltáicas</li> </ul>
Toplap	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tectonismo</li> </ul>



## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1 Revisión bibliográfica**

Como primer paso de este estudio se realizó la revisión bibliográfica acerca de la Cuenca Oriental de Venezuela, procesos de sedimentación de la Faja petrolífera del Orinoco de la secuencia Cretácico – Terciaria, su disposición en el espacio, variaciones laterales, entre otros, así como los procesos tectónicos característico de la zona.

#### **4.2 Control de calidad de los datos sísmicos**

Como información general de la adquisición y procesamiento de la sísmica se sabe que la fuente de energía empleada para las líneas sísmicas fue dinamita, así como también, en el procesamiento se realizó migración post – apilamiento con post – procesos; la carga de los datos en las estaciones de trabajo fue de 8 bits debido al espacio de memoria disponible.

Se realizó el inventario de registros de un total de 17 pozos dentro y fuera de la zona Junín 2, donde se verificó con mayor interés la presencia de los registros de densidad, sónico, rayos gamma y tiros de verificación sísmica “checkshots” (tabla 2), así como también, que el datum de los registros estuviese correcto y que el gradiente de la curva tiempo - profundidad de cada uno fuese positivo. Los pozos IZZ974 e IZZ975, a pesar de no tener estos registros, tenían como información importante la profundidad de los topes geológicos.

Considerando que todas las líneas no pertenecían a una misma campaña de adquisición (realizadas en los años 1975, 1982 y 2007), hubo tres tipos de resolución sísmica vertical. De las líneas sísmicas 2D a interpretar se revisó y ajustó el desplazamiento en tiempo de cada sección sísmica (“mis-tie”), de modo que en secciones contiguas se pudiera apreciar continuidad lateral de los eventos sísmicos. El ajuste del datum de la sísmica fue controlado por las líneas 2D de la campaña de adquisición del año 2007, ya que estaban referidas al nivel del mar, de manera que aquellas líneas correspondientes a las campañas de adquisición de los años 1975 y 1982 se ajustaron, siguiendo la continuidad de los eventos sísmicos.

De un total de 45 líneas sísmicas 2D se seleccionaron 44 para interpretar; la línea ZG-75A-4 de la campaña de adquisición del año 1975, presentó problemas en la identificación de los eventos sísmicos, por lo cual se utilizó la línea JUN-03-A perteneciente a la campaña de adquisición del año 2007, por ser paralela a la no seleccionada.

Tabla 2. Inventario de registros de pozo.

ZONA	POZO	CHECKSHOT	DENSIDAD	SÓNICO	RAYOS GAMMA
DENTRO	IZZ0113		x	x	x
	IZZ0099		x	x	x
	IZZ0102		x	x	x
	IZZ0103	x	x		x
	IZZ0104		x	x	x
	IZZ0105		x	x	x
	IZZ0106A1		x	x	x
	IZZ0125		x	x	x
	IZZ9974				
	IZZ9975				
	IZZ0242	x			x
	IZZ0250	x		x	x
FUERA	NZZ0045	x	x	x	x
	MCH 12-4	x	x	x	x
	IZZ0093	x	x	x	x
	IZZ0094	x	x	x	x
	IZZ0038	x	x	x	x

La calidad de las líneas 2D de la campaña de adquisición del año 2007 tiene problemas de cobertura, ya que se ve afectada por la presencia de gran cantidad de morichales en la zona, generando una serie de zonas sin información en la mayoría de las líneas (figura 7). En el mapa toponímico del bloque Junín 2, figura 45 del apéndice, se puede apreciar la disposición de dichos morichales.

Cabe destacar que la sísmica adquirida antes del año 2007 tiene una calidad considerada de regular a pobre, no permitiendo la determinación de la geometría estructural y los eventos sísmicos, además de la distancia entre líneas 2D de 2,5 km a 5 km, lo que genera mayor incertidumbre en el modelo estructural.

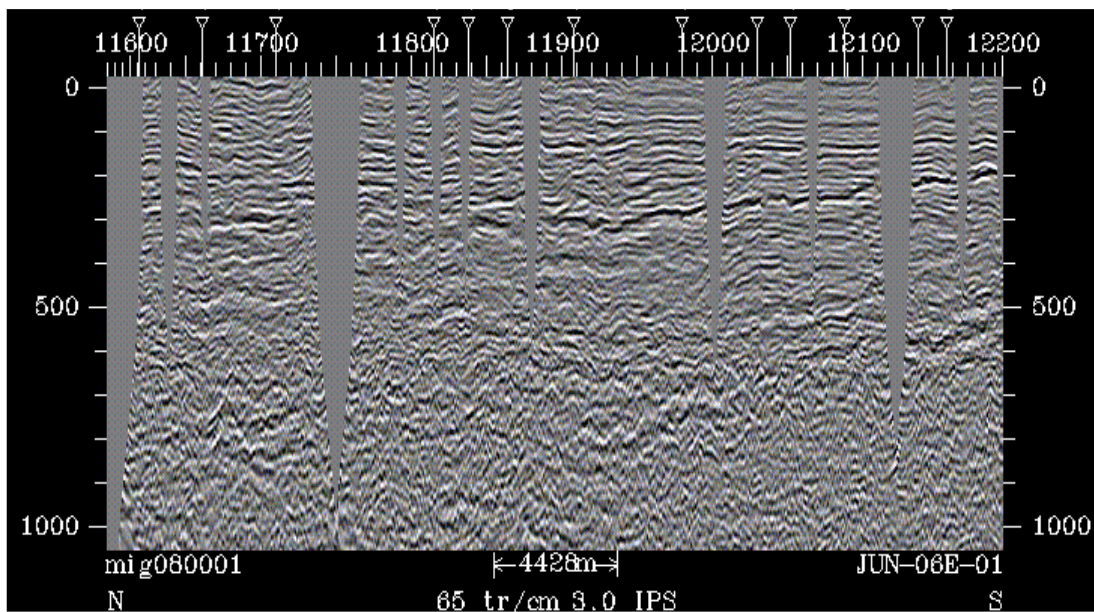


Figura 7. Línea sísmica 2D JUN- 06E-01 perteneciente a la campaña de adquisición del año 2007.

### 4.3 Construcción de sismogramas sintéticos

#### 4.3.1 Estudio de las curvas de tiros de verificación sísmica

Como primer paso para este proceso se realizó la evaluación de las curvas de tiempo profundidad de cada pozo en función de determinar si eran aptas para la calibración sísmica – pozo. Como se observa en el gráfico 1, se buscó que todas las curvas cumplieren con una función creciente de la velocidad con la profundidad, así como también, que fuesen continuas y suaves asegurando con esto que no hubiesen valores anómalos posiblemente debidos a errores de carga de datos o de mala medición en el campo.

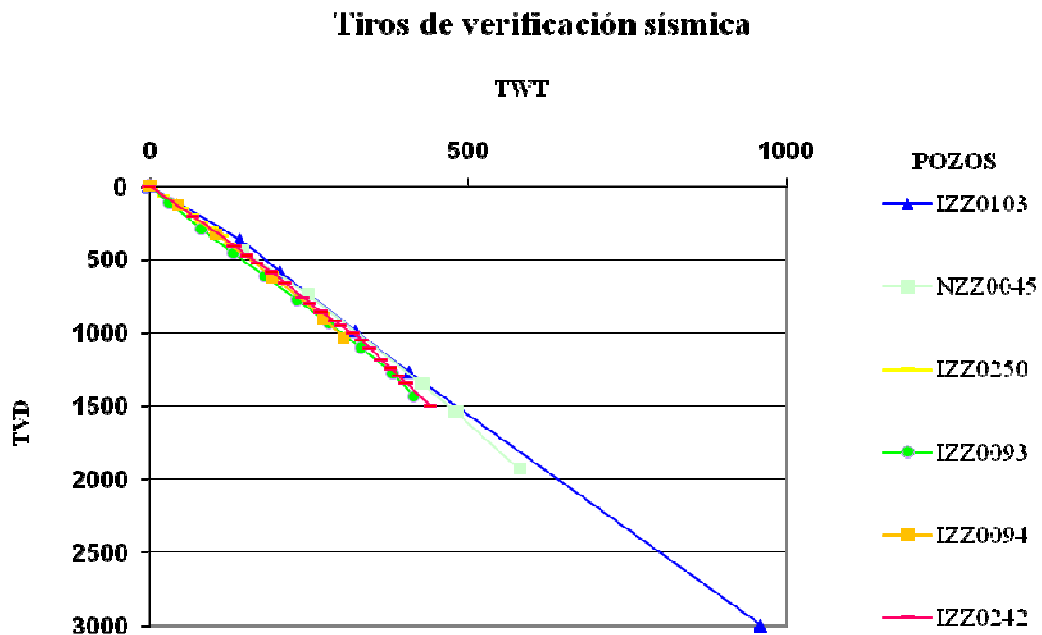


Gráfico 1. Curvas de tiempo profundidad de los pozos dentro y fuera de la zona de estudio.

Para los pozos que no tenían curva de tiempo – profundidad, se les asignó dicha curva del pozo más cercano a cada uno de ellos respectivamente; esto se realizó ya que la tendencia obtenida de todas las curvas estudiadas fue muy similar (tabla 3).

Tabla 3. Curvas de tiro de verificación sísmica (TVS) asignada a cada pozo.

<b>Pozo</b>	<b>Curva TVS asignada</b>
IZZ0102	IZZ01031
IZZ0106A1	IZZ01031
IZZ0125	IZZ01031
IZZ9974	IZZ01031
IZZ9975	IZZ0242
IZZ0099	IZZ0242
IZZ0105	IZZ0242
IZZ0104	IZZ0250
IZZ0113	NZZ0045

#### **4.3.2 Construcción de la serie de reflectividad**

Luego de la selección del pozo a calibrar y su curva de tiro de verificación sísmica (TVS) correspondiente, se cargaron las curvas de registro sísmico y registro de densidad necesarias para calcular los valores de impedancia acústica. Seguidamente se corrigió el registro sísmico con la curva TVS.

Se construyó la serie de reflectividad, la cual consistió en el cálculo de los coeficientes de reflexión de la manera descrita en la ecuación 1 (capítulo III), con la impedancia acústica calculada a partir de la multiplicación entre los valores de densidad y los valores de velocidad intervállica del sísmico corregido.

#### **4.3.5 Obtención de la ondícula para la convolución**

La ondícula que se utilizó para la convolución con la serie de reflectividad fue extraída de la sísmica con fase cero, una vez originada esta ondícula se convolucionó

con la serie de reflectividad, lo que generó la traza sintética del sismograma sintético. Los parámetros utilizados para la obtención de la ondícula fueron: las trazas cercanas al pozo (10 a 20 trazas) y la ventana de tiempo de correlación (secuencia Cretácico – Terciario).

#### 4.3.6 Calibración sísmica - pozo

Se acopló la correspondencia entre los eventos del sismograma sintético y los eventos de las trazas sísmicas reales cercanas al pozo procurando un buen coeficiente de correlación. El sismograma sintético fue trasladado verticalmente para su ajuste con los eventos sísmicos, como se puede observar en la figura 8, usando el movimiento vertical relativo de la traza para con la sísmica (“shift”), luego de dicho movimiento se mostraba el valor absoluto en milisegundos.

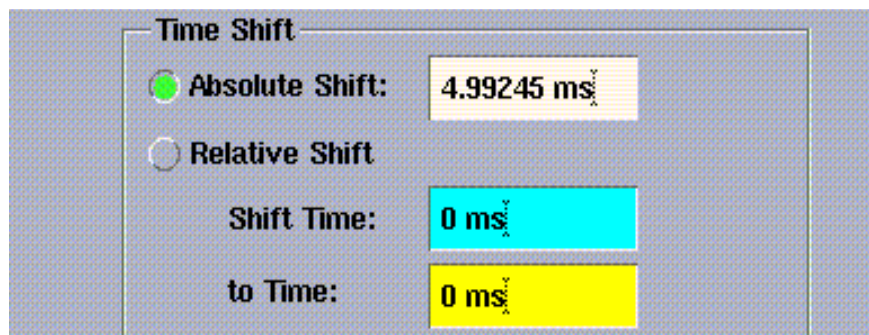


Figura 8. Movimiento vertical aplicado al sismograma sintético para el ajuste con la sísmica (“shift”).

En la figura 9 se puede observar el proceso de realización del sismograma sintético, de izquierda a derecha: escala en tiempo y profundidad, topes geológicos, curva tiro de verificación sísmica (TVS), curva del registro sónico corregido por TVS, curva del registro de densidad, impedancia acústica calculada a partir de los dos registros anteriores, serie de reflectividad, sismograma sintético, registro de rayos gamma, trazas de la sísmica cercana al pozo.

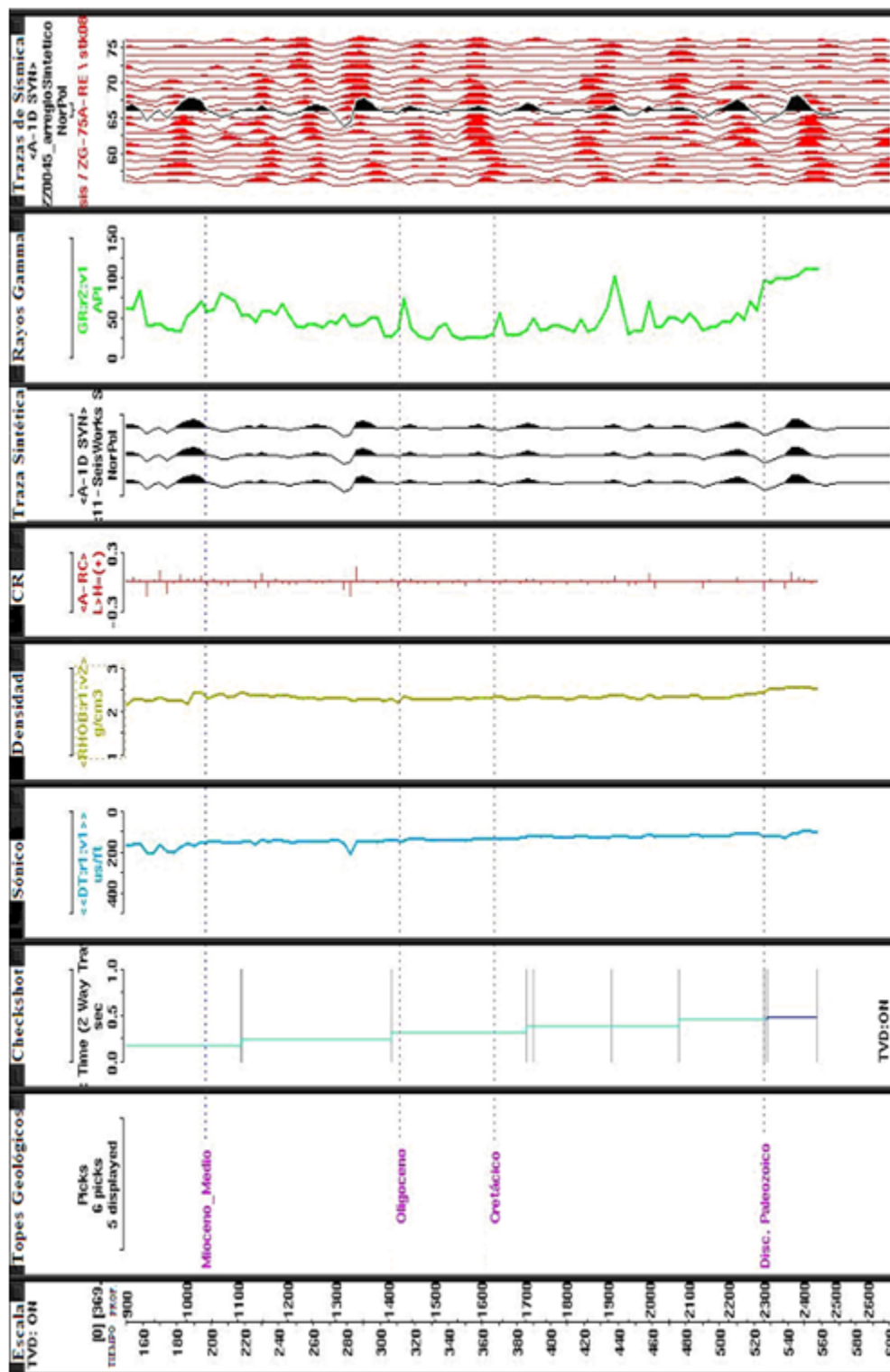


Figura 9. Sismograma sintético del pozo NZZ0045.

Se puede observar la correspondencia entre la curva de rayos gamma y los topes geológicos a interpretar, conjunto a los eventos vistos en las trazas correspondientes a la sección sísmica y el sismograma sintético; para este sismograma del pozo se tuvo un coeficiente de correlación mayor de 60%, lo cual indica una buena calibración de la sísmica con los datos de pozo.

#### 4.4 Resolución vertical de la sísmica

Una vez realizado el proceso de extracción de la ondícula generada a partir del promedio de las amplitudes sísmicas de las trazas contiguas al pozo, se obtuvo su espectro de amplitud vs. frecuencia, como se puede observar en la figura 10. Cabe destacar que se calcularon tres resoluciones sísmicas debido a las tres campañas de adquisición que conforman a esta zona de estudio.

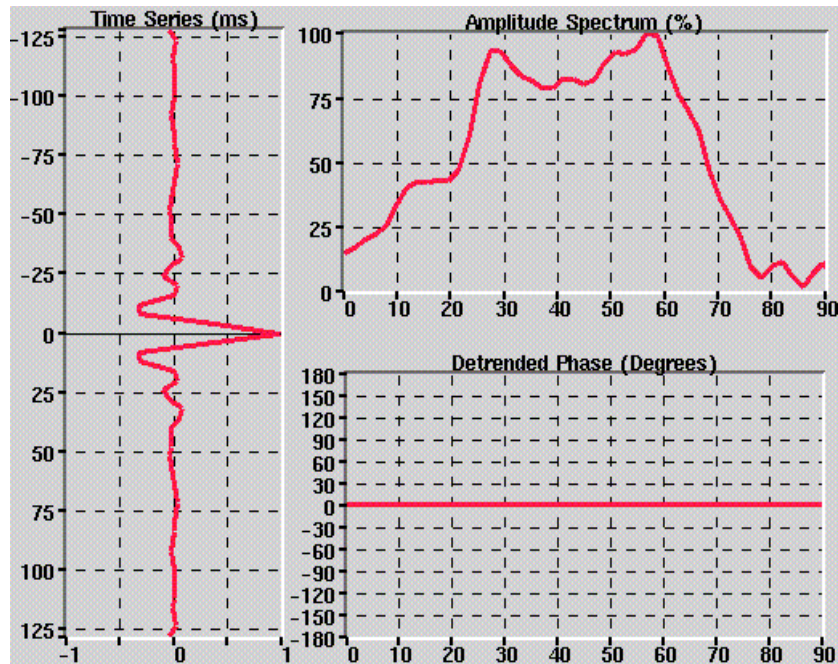


Figura 10. Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 2007.



Se sabe según Liner (2004), que la máxima resolución vertical de la sísmica consiste en  $\approx 1/4$  de la longitud de onda, así como también, que la longitud de onda es la relación entre la velocidad y la frecuencia ( $\lambda = v/f$ ), de manera que una vez conocidas la velocidad interválica en la sísmica y la frecuencia dominante, se calculó la resolución vertical a partir de la ecuación 2 (capítulo III).

## 4.5 Interpretación estructural 2D

### 4.5.1 Interpretación de fallas

Para la interpretación de las fallas se tomó en cuenta las discontinuidades de una serie de reflectores subyacentes, como se observa en la figura 11, en la cual se consideraron los posibles errores de procesamiento en función de no hacer una falsa interpretación.

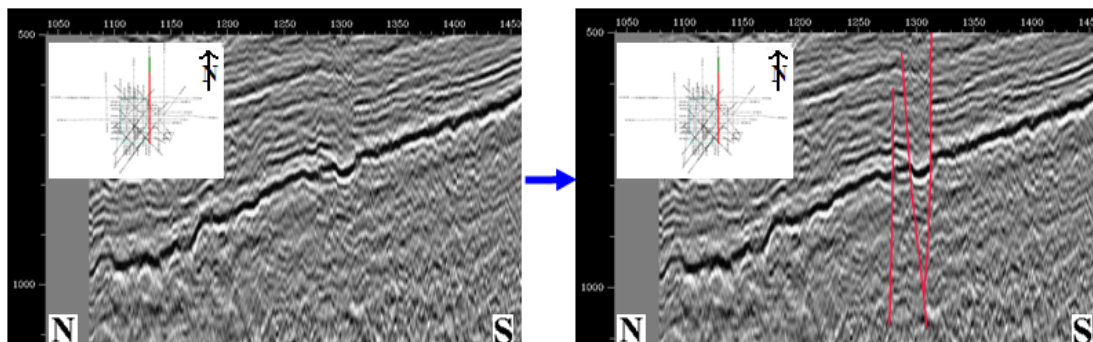


Figura 11. Interpretación de fallas en línea sísmica 2D JUN-06E-09.

Debido a las zonas sin cobertura en las secciones sísmicas como las líneas de orientación norte – sur, fue difícil asociar las fallas ya interpretadas, por lo que se compararon entre sí todas las secciones paralelas con dicha orientación y de esta manera se logró asociarlas, además de interpretarlas en dichas zonas sin cobertura.

#### 4.5.2 Interpretación de horizontes

Para la interpretación de horizontes en el dominio del tiempo, se tomó como guía los marcadores de los pozos que se encontraban sobre las líneas de adquisición sísmica, así como también, los pozos muy cercanos a ellas, considerando su proyección y tomando en cuenta el buzamiento de los estratos en la zona, (figura 12). Para la determinación de la polaridad de los horizontes en la sísmica se consideró el tipo de litología que conforma a cada Formación, la cual se corrobora en el registro de rayos gamma.

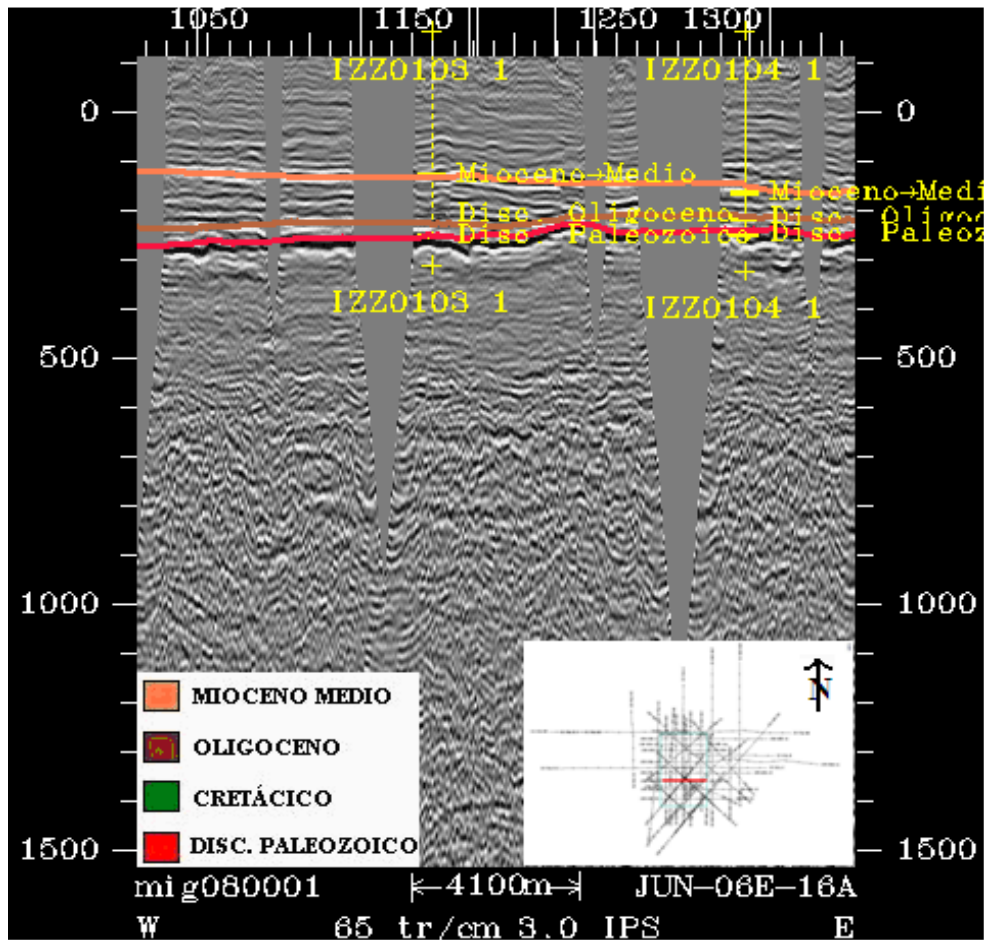


Figura 12. Topes de pozo para la interpretación de horizontes en línea sísmica 2D JUN-06E-16A.

#### 4.7 Interpretación estructural 3D

Luego de haber terminado la interpretación 2D de horizontes y fallas en la plataforma Landmark, se llevaron todos los datos a la plataforma Petrel, dichos datos fueron:

- Registros e información de pozos, topes geológicos (picks), curva de tiro de verificación sísmica (checkshot),
- Líneas sísmicas del área,
- Fallas interpretadas,
- Horizontes interpretados,
- Polígono de control del área estudiada.

Una vez cargada la información en Petrel se realizó un control de calidad de la interpretación de los horizontes, ya que se encontraron puntos aislados que podían afectar la generación de superficies en tiempo. A continuación se presenta el esquema de los pasos que se siguieron en la elaboración del modelado estructural tridimensional, luego de haber filtrado los datos de valores anómalos provenientes de la interpretación (figura 13).

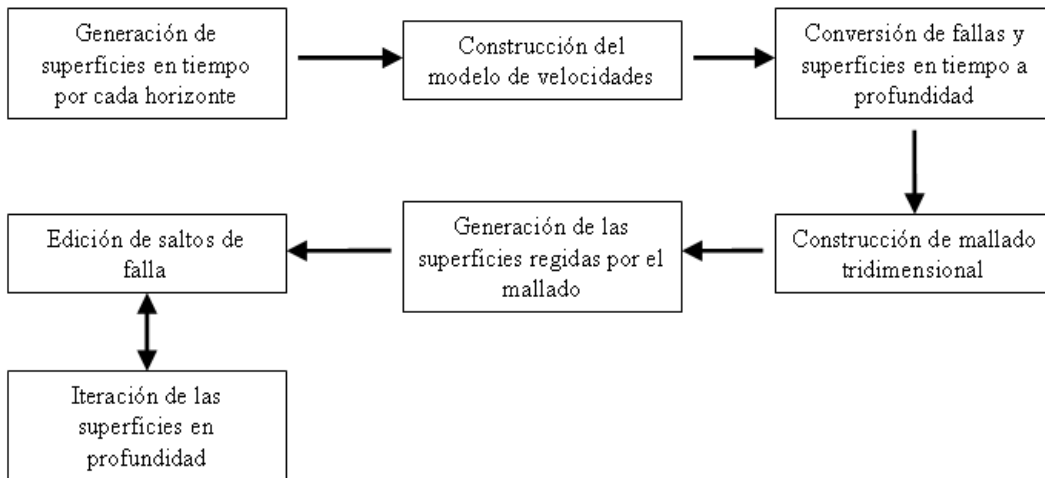


Figura 13. Pasos para la realización del modelado estructural 3D.

#### 4.6.1 Generación de superficies en tiempo

La información necesaria para generar las superficies fue la interpretación de las líneas 2D y los marcadores geológicos de cada pozo: Discordancia del Paleozoico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno Medio. La construcción de las superficies fue realizada de manera estadística por interpolación de los datos, limitados espacialmente por el polígono de control del bloque Junín 2.

#### 4.6.2 Construcción del modelo de velocidad

Este modelo de velocidad fue realizado de manera estadística con la propagación de los valores de velocidad promedio, obtenido de las curvas de tiempo profundidad de cada pozo, en un volumen estadístico de velocidades, usando el método de interpolación del cuadrado del inverso de la distancia; se realizó de esta manera, ya que la única información que se poseía era los pozos con sus respectivas ubicaciones, marcadores geológicos, curvas de tiempo – profundidad y superficies en tiempo. El procedimiento seguido fue el siguiente (figura 14):

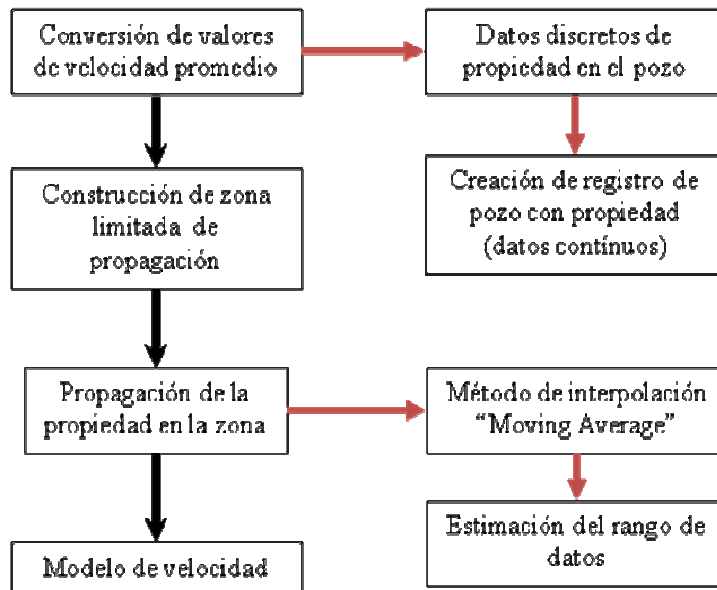


Figura 14. Pasos para la construcción del modelo de velocidad.

#### **4.6.2.1 Conversión de valores de velocidad promedio**

Los valores discretos de velocidad promedio se interpolaron a lo largo del mismo para transformarlos a continuos, lo cual se aprecia en la figura 15; esto se realizó para poder propagar la propiedad en el cubo.

#### **4.6.2.2 Construcción de zona limitada de propagación**

Para poder propagar la propiedad se necesitó construir una zona (cubo) con los límites necesarios para cubrir la zona de estudio. Este cubo estuvo compuesto por 431.100 celdas donde el valor mínimo y máximo de los datos de velocidad promedio fue de 4500 ft/s y 7000 ft/s respectivamente.

#### **4.6.2.3 Propagación de la propiedad en la zona**

Una vez definida la zona, los valores de velocidad que existían entre los pozos fueron interpolados por medio del método: “Moving Average” el cual busca el promedio de los datos de entrada y los pesa de acuerdo a la distancia a los pozos (cuadrado del inverso de la distancia). Los valores nunca serían mayores ni menores que el mínimo y el máximo de los datos de entrada. El algoritmo del método siguió las tendencias de los datos de entrada y por lo tanto pudo crear valores mayores y menores que el mínimo y el máximo de los mismos.

De los otros métodos de interpolación que se podían usar: simulación secuencial gaussiana, “Kriging”, “Kriging por Gslib”, distancia más cercana al punto, entre otros; se usó el de “Moving Average” ya que con los demás métodos de interpolación se obtenían cierres concéntricos alrededor de los pozos o respuestas no esperadas de velocidad.

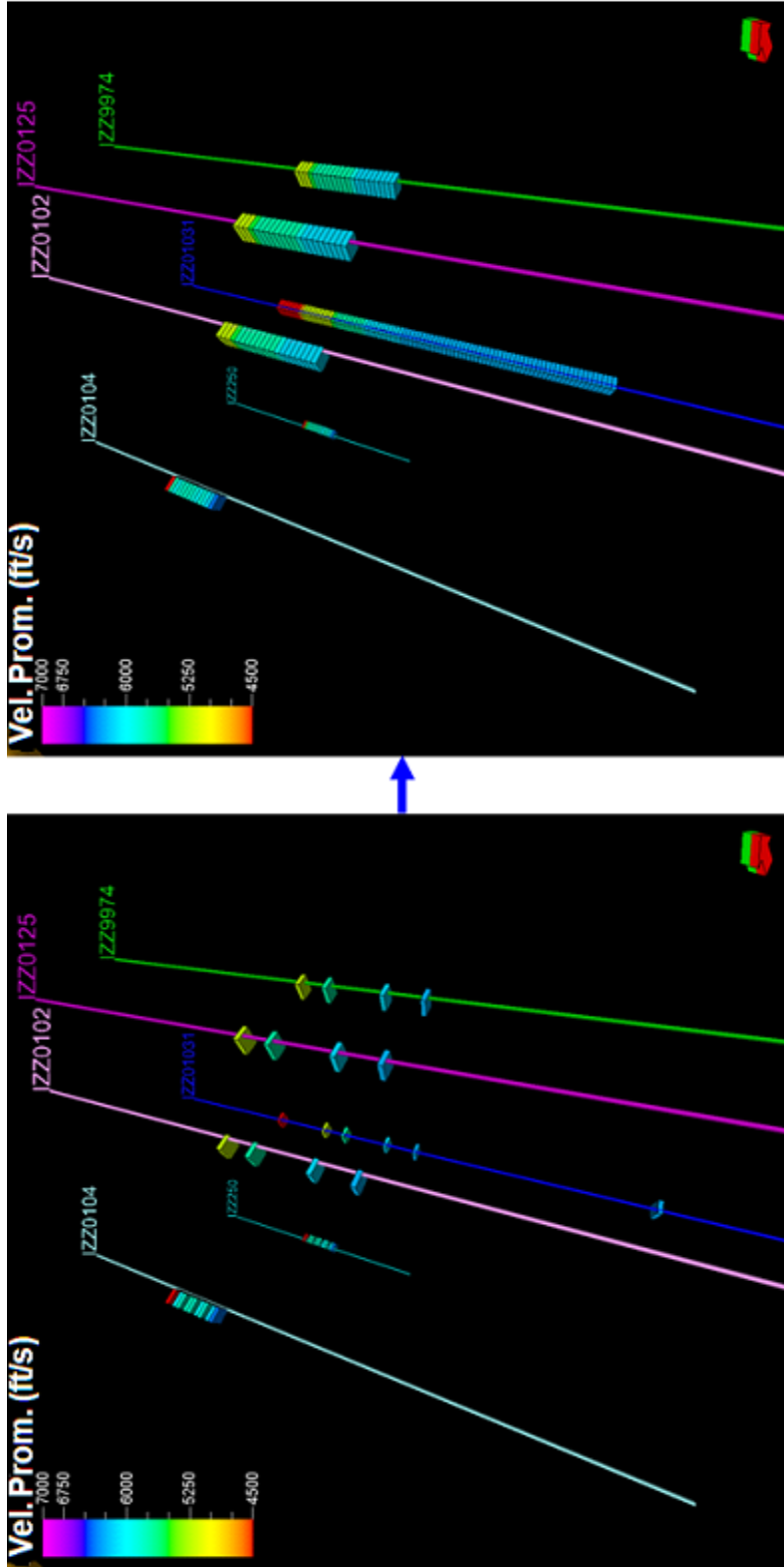


Figura 15. Valores de Velocidad Promedio discretos (izquierda) y continuos (derecha).

Se utilizaron todos los pozos para la realización del modelo excepto el pozo IZZ242, sin embargo éste fue usado para la comprobación de dicho modelo con las superficies generadas en profundidad.

#### 4.6.2.4 Modelo de velocidad

El modelo de velocidad se comprobó con el pozo IZZ0242, como se puede apreciar en la tabla 4. La diferencia entre el valor de profundidad del tope geológico del pozo y el valor de la superficie correspondiente al tope geológico es menor al 1%.

Tabla 4. Comprobación del modelo de velocidad.

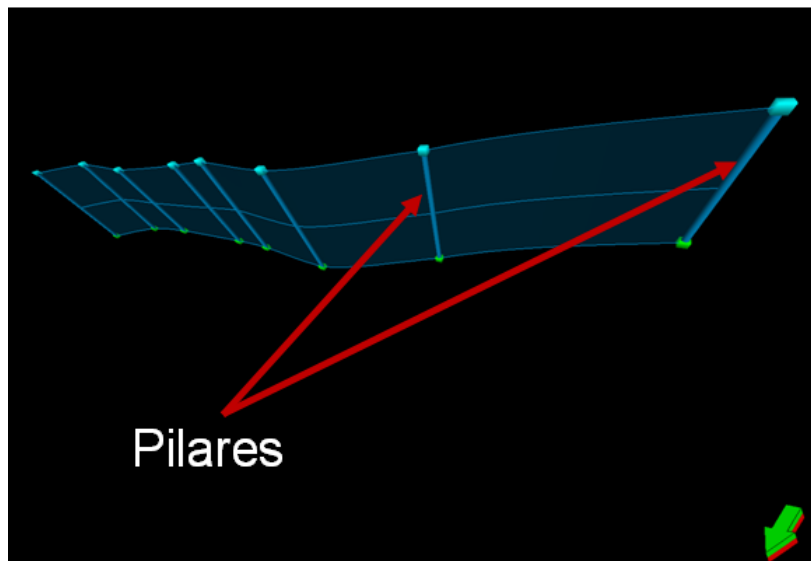
Pozo ciego modelo de velocidad			
Tope	Pozo	Diferencia (ft)	% Error
Mioceno Medio	IZZ0242	19	0,92
Oligoceno	IZZ0242	12	0,58
Cretácico	IZZ0242	7	0,34
Disc. Paleozoico	IZZ0242	18	0,88
Profundidad total del pozo: 2055,10			
Ecuación de error: $\left[ \frac{\text{Tope} - \text{Superficie}}{\text{Prof. total pozo}} \right] * 100$			

#### 4.6.3 Conversión de fallas y superficies en tiempo a profundidad

Con el modelo de velocidades generado se convirtieron las superficies y fallas a profundidad.

Una vez convertidas a profundidad las interpretaciones de las fallas, se convirtieron en “pilares” (nomenclatura Petrel) y sobre estos se trabajó. El proceso que se siguió se describe a continuación y se usará como ejemplo una falla designada

como F3, ya que para todas se realizó el mismo: consistió en unir todos los pilares correspondientes a una misma falla, lo que conformó el plano de falla, así como también su limitación a la superficie base y tope correspondiente. La intersección de planos de algunas fallas se realizó por medio de la unión de pilares agregados y para la extensión de fallas no visible en 2D se agregaron más pilares. Las fallas que no fueron asociadas en la sísmica con otras por ser difícil su visualización, se asociaron en la construcción del plano de falla en 3D. Finalmente se puede ver en la figura 16 la falla F3 ya editada; todas las fallas fueron verificadas en cuanto a su buzamiento y su extensión de interpretación.



**Figura 16. Edición de planos de falla en profundidad.**

Debido a su geometría, las superficies se editaron luego de estar en profundidad, ya que por formato predeterminado de Petrel utilizaba todo el borde del área de estudio, colocando a algunas superficies (Cretácico y Oligoceno) en zonas donde no existían, se originaron bordes específicos para cada una de dichas superficies, eliminándolas donde fuese necesario. En la figura 17 se puede observar la edición de la superficie perteneciente al Cretácico.



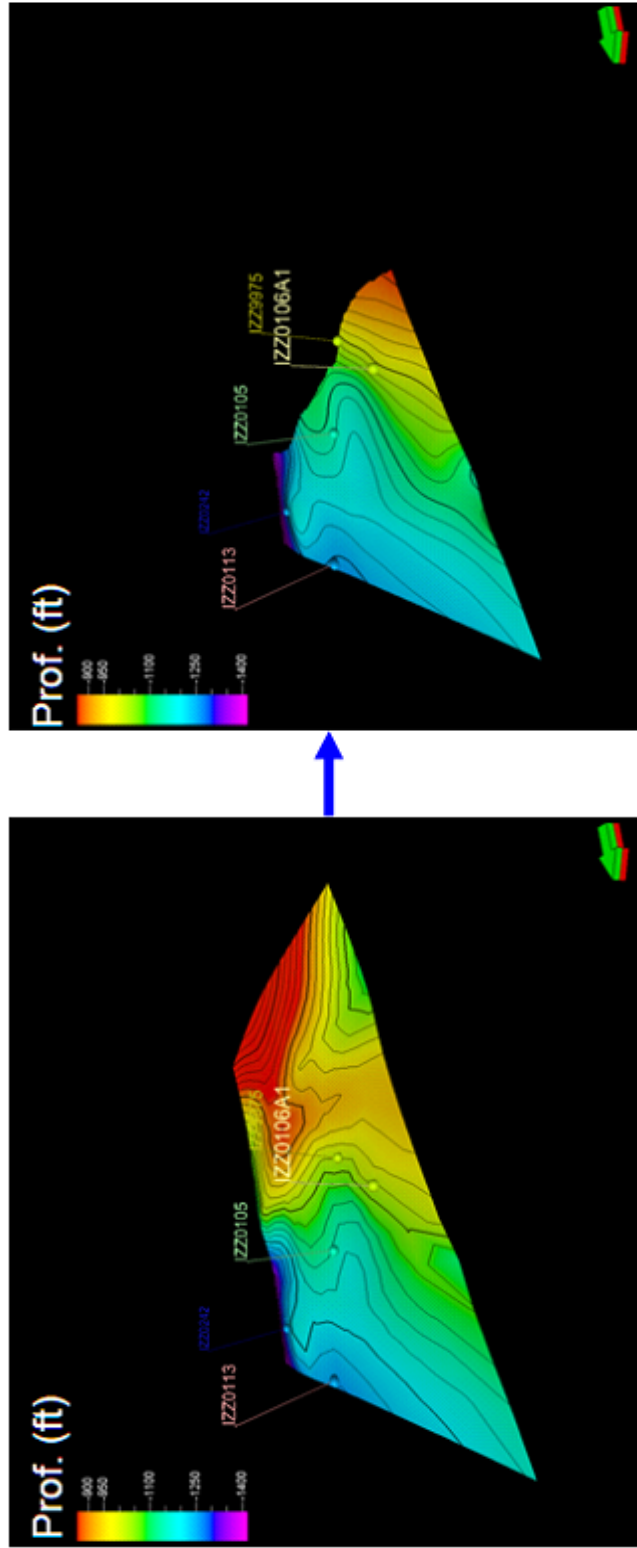


Figura 17. Edición de superficie Cretácico en profundidad.

#### **4.6.4 Construcción de mallado estadístico estructural 3D para las superficies**

Este mallado fue la base para originar la forma de las superficies según el modelo de fallas interpretado.

Para la construcción del mallado primeramente se dieron las dos direcciones principales de una vista de planta de los planos de falla editados anteriormente, como se puede observar en la figura 18, para que las direcciones perpendiculares de la cuadrícula se ajustaran mejor; los planos de falla que no poseían ninguna de esas dos direcciones se identificaron como fallas con dirección arbitraria. En cuanto al tamaño de las cuadrículas se aplicó de 150 m x 150 m, debido a la distancia entre las líneas sísmicas, y para la forma geométrica de la misma cerca de las fallas se utilizaron varios métodos entre los cuales se aplicó: primero el movimiento de las celdas a los puntos más cercanos de la falla y segundo la realización de un zig-zag en las celdas para no perder la ortogonalidad de las mismas. Estos métodos buscaron el mejor ajuste de la malla al modelo de fallas, de manera que la cuadrícula no fuese muy deformada y ocasionara errores en el modelado.

El método que funcionó para este modelado fue el de movimiento de las celdas a los puntos más cercanos de la falla, ya que no se perdía la ortogonalidad de las celdas.

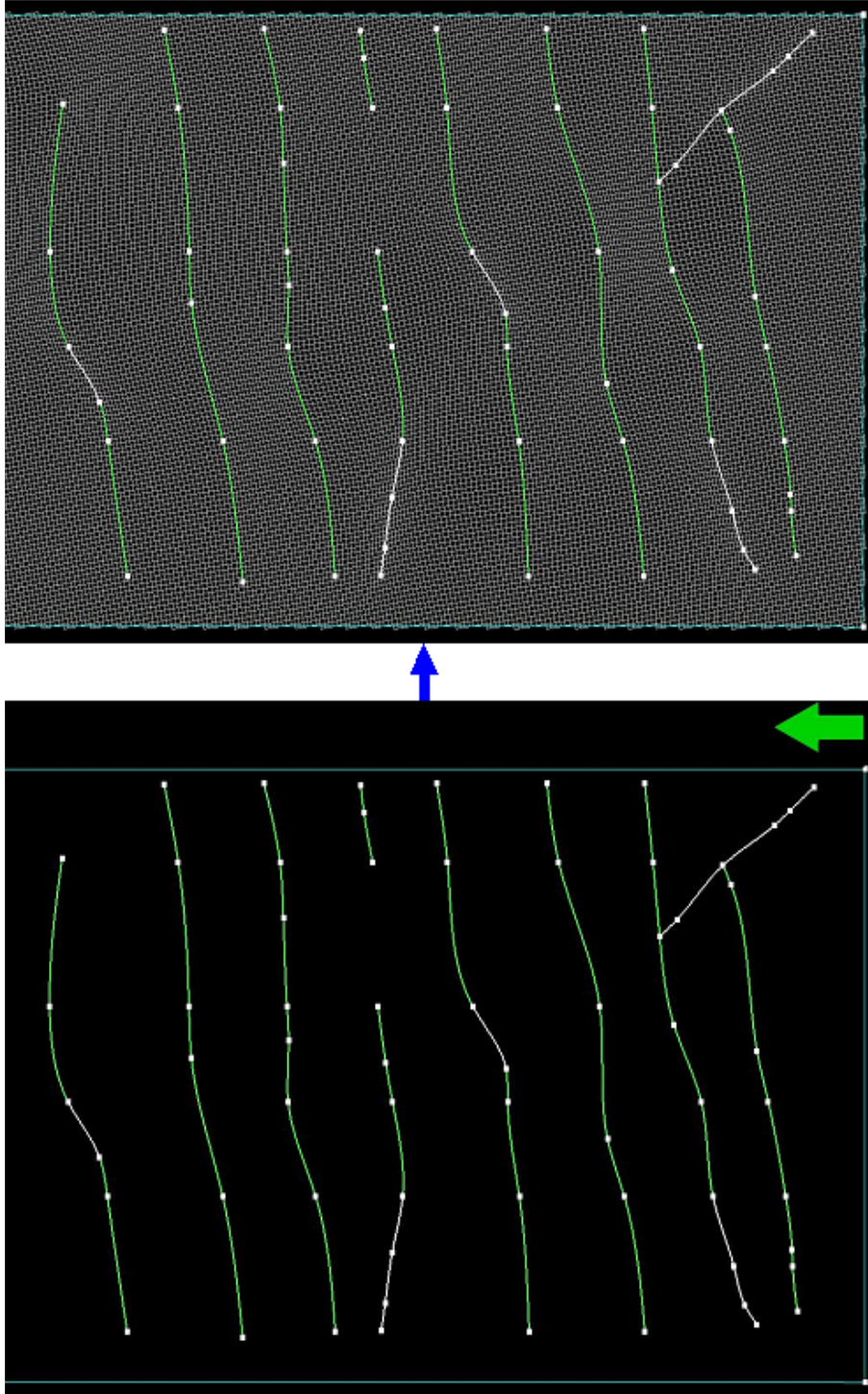


Figura 18. Mallado estadístico estructural regido por los planos de falla.

Una vez construido el mallado y luego de haber verificado que la forma de sus celdas era apropiada, se originaron tres mallas: base, medio y tope definidas por los puntos base, medio y tope de los pilares de cada plano de falla respectivamente, como se puede observar en la figura 19.

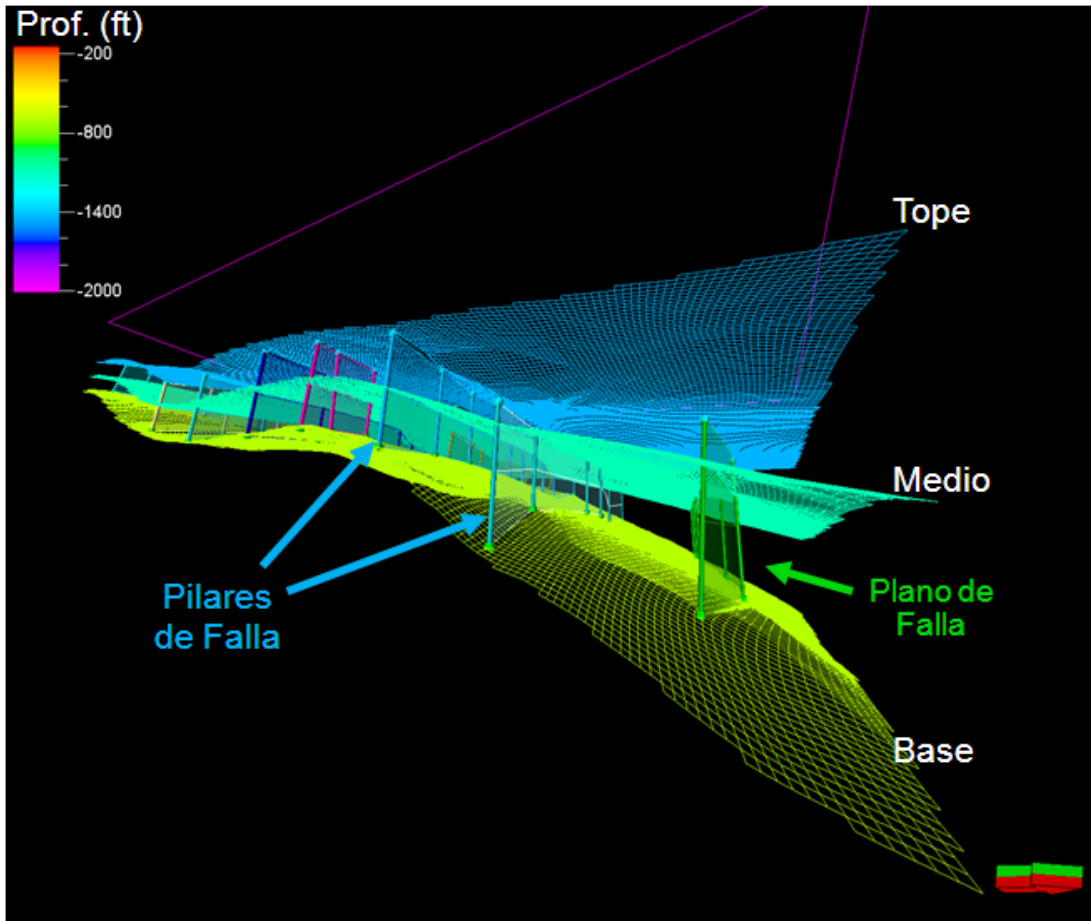


Figura 19. Mallado estadístico estructural (base, medio y tope) regido por los planos de falla.

#### 4.6.5 Generación de superficies en profundidad regidas por el mallado y edición de saltos de falla

Debido a que el mallado estructural rige la disposición geométrica de los elementos del modelo, se generaron nuevamente las superficies del modelo manteniendo su ajuste con los topes. Los puntos que constituían la intersección entre las superficies y los planos de falla (figura 20), son los que permitieron el modelado de su forma y salto en la superficie. Se realizó de la superficie más profunda a la más somera, así mismo se tomó en cuenta las zonas de acuñamiento, la edad de cada falla y la identificación de los bloques levantados y deprimidos.

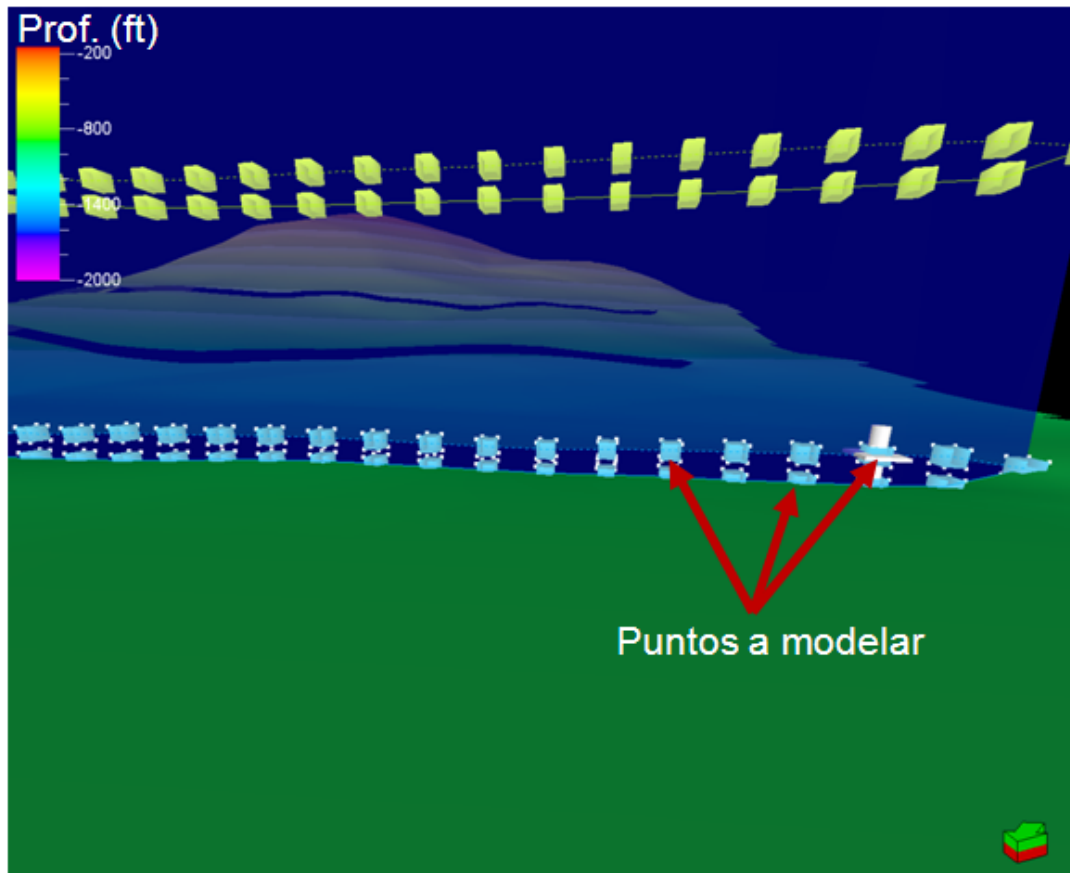
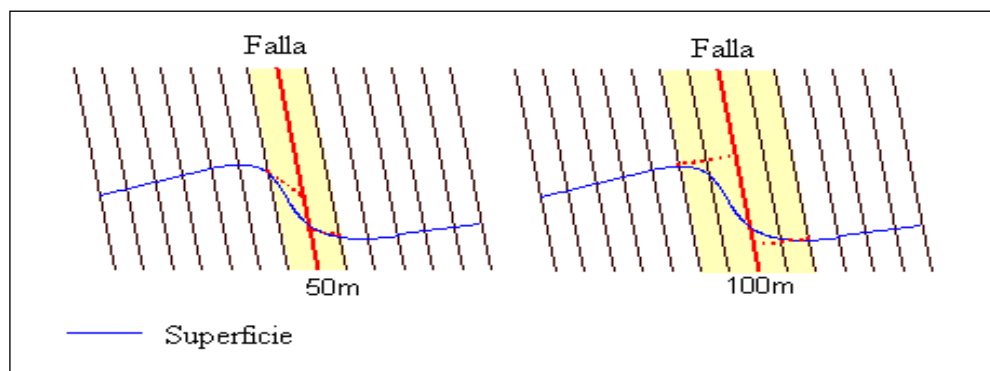


Figura 20. Puntos para modelar producto de la intersección de plano de falla con la superficie.

Detalladamente, este paso consistió en modelar en el mallado el salto de cada una de las fallas y la distancia de extrapolación de la superficie al plano de falla; esto último quiere decir que si la distancia era muy pequeña o muy grande, la superficie tomaba una forma muy curvada (alto o bajo abrupto) cerca del plano de falla, de manera que dicha distancia fue considerada dependiendo de la flexura que se generaba en la superficie y del tamaño del salto de falla, como ejemplo se puede observar la figura 21 donde se señala lo que sucede en el horizonte dependiendo de la distancia tomada.



**Figura 21. Distancia de extrapolación del horizonte alrededor del plano de falla.**

En la figura 22 se puede observar la modificación del mallado estructural con la edición de los saltos de falla.

De la interpretación en tiempo se calculó la cantidad de milisegundos que representaba cada salto de falla y se realizó la conversión de este valor a profundidad por medio de la ecuación de regresión lineal de las curvas tiempo – profundidad de los pozos más cercanos a cada una (gráfico 2). La cadena de puntos que conformaban a cada falla para su modelado fueron separados la distancia vertical correspondiente a su salto calculado en profundidad.

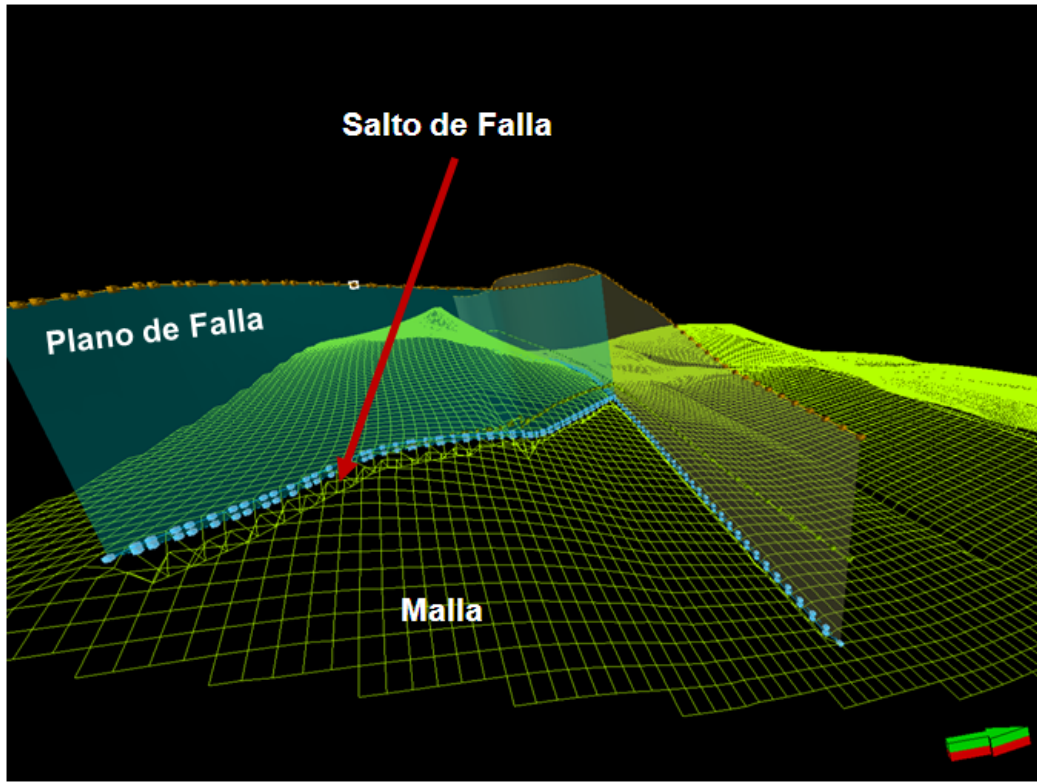


Figura 22. Malla modificada por la edición de los saltos de falla.

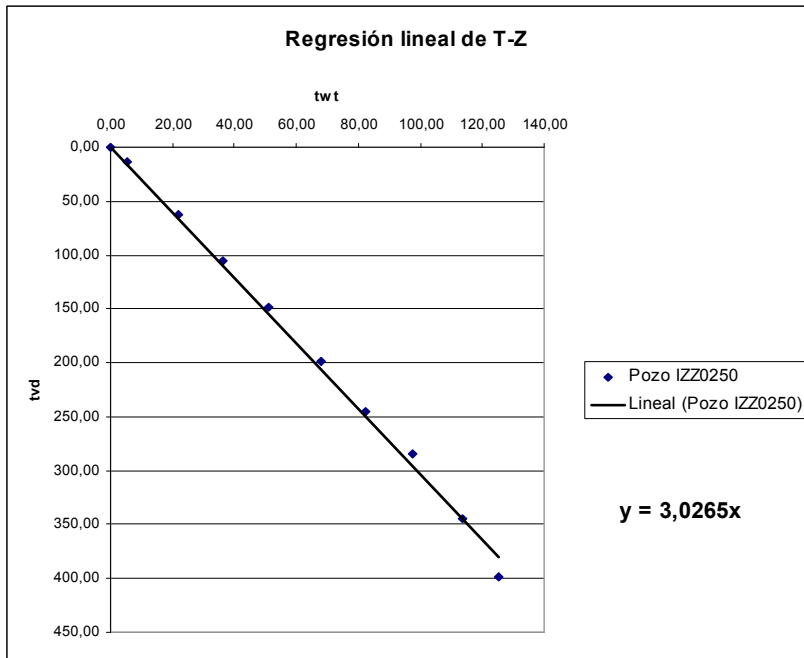


Gráfico 2. Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo - profundidad.

Este proceso fue iterativo, ya que cada vez que se modificó una distancia o se modeló manualmente un salto de falla, se generaron nuevamente las superficies, bloqueando los puntos modelados para que no se modificaran por el formato predeterminado al correr dichas superficies (figura 23); con esto se verificó si no había altos o bajos cerca del plano de falla, y si se mantenía el régimen normal de las mismas.

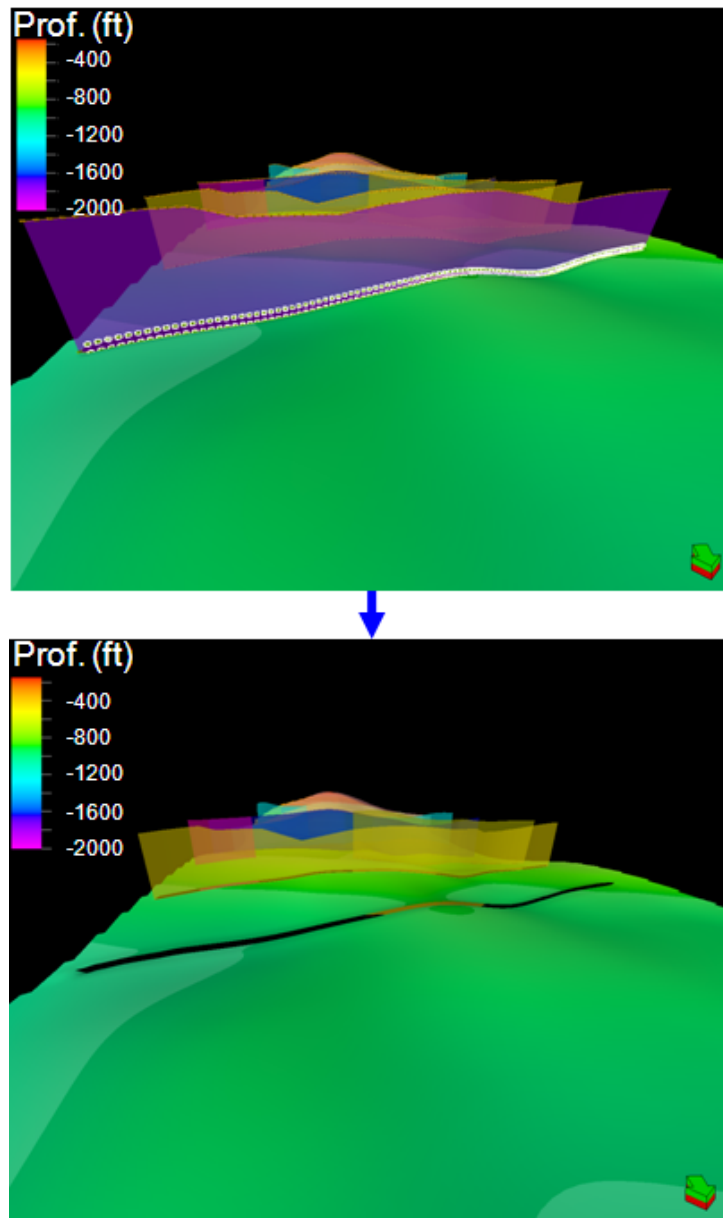


Figura 23. Edición de saltos de falla y modificación de la superficie en la iteración.



Las zonas donde se encontraban acuñamientos muy cercanos a las fallas como se observa en la figura 24, se modelaron con suma atención ya que esta vez no se tenían dos puntos de una sola superficie si no de dos, donde se tuvo que identificar y unir los puntos que pertenecían a la parte delantera o trasera al plano de falla, es decir, mantener la consistencia de bloque levantado y deprimido en las dos superficies y modelando la forma del acuñamiento.

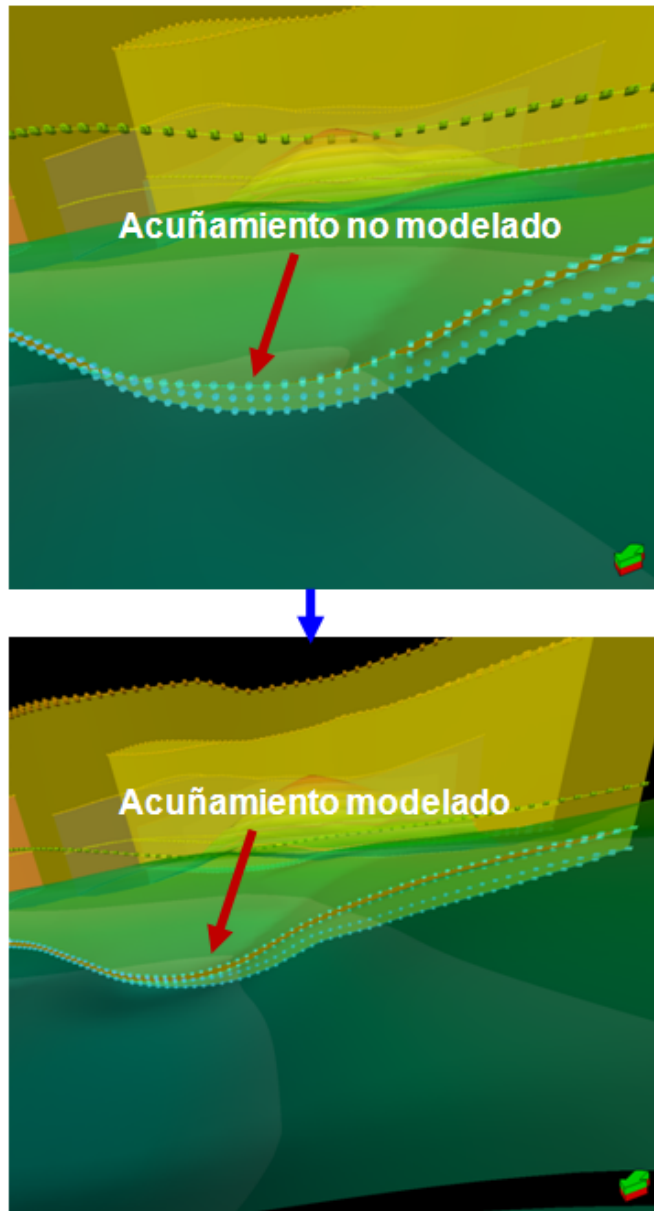


Figura 24. Modelado de saltos de falla en zona de acuñamiento antes de iterar la superficie.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 Resolución vertical de la sísmica

Con la extracción de la ondícula de la sísmica se obtuvo tres valores de frecuencia en la sísmica (figura 10), correspondientes a las tres campañas de adquisición como se puede observar en la tabla 5; los datos de velocidad están referidos al nivel del mar y se puede apreciar que la resolución vertical para las campañas de los años 1982 y 2007 son similares.

Tabla 5. Resolución vertical calculada para la secuencia completa del Mioceno Medio a Discordancia del Paleozoico.

<b>Año - Sísmica</b>	<b>Velocidad Prom. (ft/s)</b>	<b>Frecuencia (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Resolución (ft)</b>
1975	6690	27	62
1982	6495	40	41
2007	6762	40	42

#### 5.2 Interpretación estructural 2D

##### 5.2.1 Interpretación de fallas

Se encontró en mayor cantidad, fallas normales y en “echelón” en la zona de estudio, las cuales no sobrepasan de 30 m (90 pies) en su salto; se observó que la tendencia predominante de la mayoría de dichas fallas es este-oeste, así como

también, de componente aproximado N75°E. Lo descrito anteriormente coincide con el planteamiento de Talwani (2002) de las estructuras y tectónica para la división de la provincia oeste de la Faja, el cual describe una orientación este – oeste y noreste – suroeste; en cuanto a los saltos de falla describe 60 m en promedio, que corresponde al doble del salto de falla mayor en la zona de estudio.

La configuración de estas fallas es posiblemente debida al margen extensional ocurrido en el Mesozoico inferior (Jurásico) como señala Talwani (2002), en el cual, la separación entre Yucatán y la Placa Suramericana crea un intenso fallamiento, donde las mayores evidencias corresponden a los basaltos y capas rojas depositadas en el Graben de Espino y a fallamientos profundos como lo representa la Falla de Altamira, ambos eventos geológicos cercanos a la zona interpretada. También se pudo observar que la orientación de las fallas del Bloque Junín 2 es similar a la Falla de Carrizal, ubicada al norte de dicho bloque (figura 25).

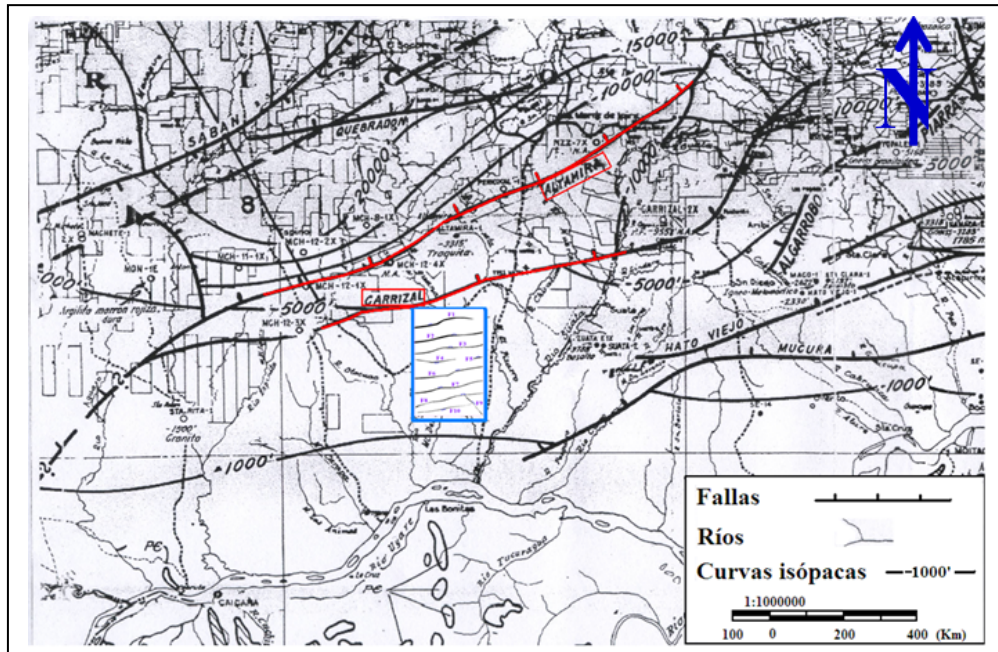


Figura 25. Mapa estructural de Venezuela, zona del Bloque Junín 2 (recuadro azul). Nótese la orientación de la falla Carrizal al norte del bloque y las fallas estudiadas en el bloque. Modificado de Foster (1981), CORPOVEN.

Según Talwani (2002), en la división de provincias este y oeste de la Faja Petrolífera del Orinoco que propone debido al sistema de fallas de Hato Viejo, la orientación de fallas encontradas en la provincia Este ( $N30^{\circ}-45^{\circ}W$ ), también se observó al sur del bloque Junín 2, que pertenece a la provincia Oeste según esta división, así como también ha sido observado en la zona de Boyacá de dicha Provincia Oeste según estudios realizados por Suárez (2007).

### **5.2.2 Interpretación de horizontes**

Se interpretaron cuatro topes pertenecientes a las edades geológicas: Discordancia del Paleozoico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno Medio, como se pueden observar en la figura 26.

La sección sísmica JUN-06E-15 es una de las secciones con mayor extensión en la cual se puede observar de norte a sur la disposición de la secuencia Cretácico – Terciaria estudiada. La discordancia del Paleozoico es claramente observable en todas las líneas del estudio, excepto en las líneas con orientación este-oeste pertenecientes a la campaña de adquisición del año 1975 hacia el norte y en las de la campaña de adquisición del año 2007 hacia el sur.

En cuanto a las secuencias sísmicas (figura 27), se logró identificar dos reflectores fuertes suprayacentes a los topes geológicos interpretados, los cuales aún no han sido identificados con correlación sismoestratigráfica y que no fueron interpretados para este estudio. Esto sirvió como visión regional de la disposición y terminaciones de las secuencias en el bloque y como guía en las líneas con falta de información sísmica.

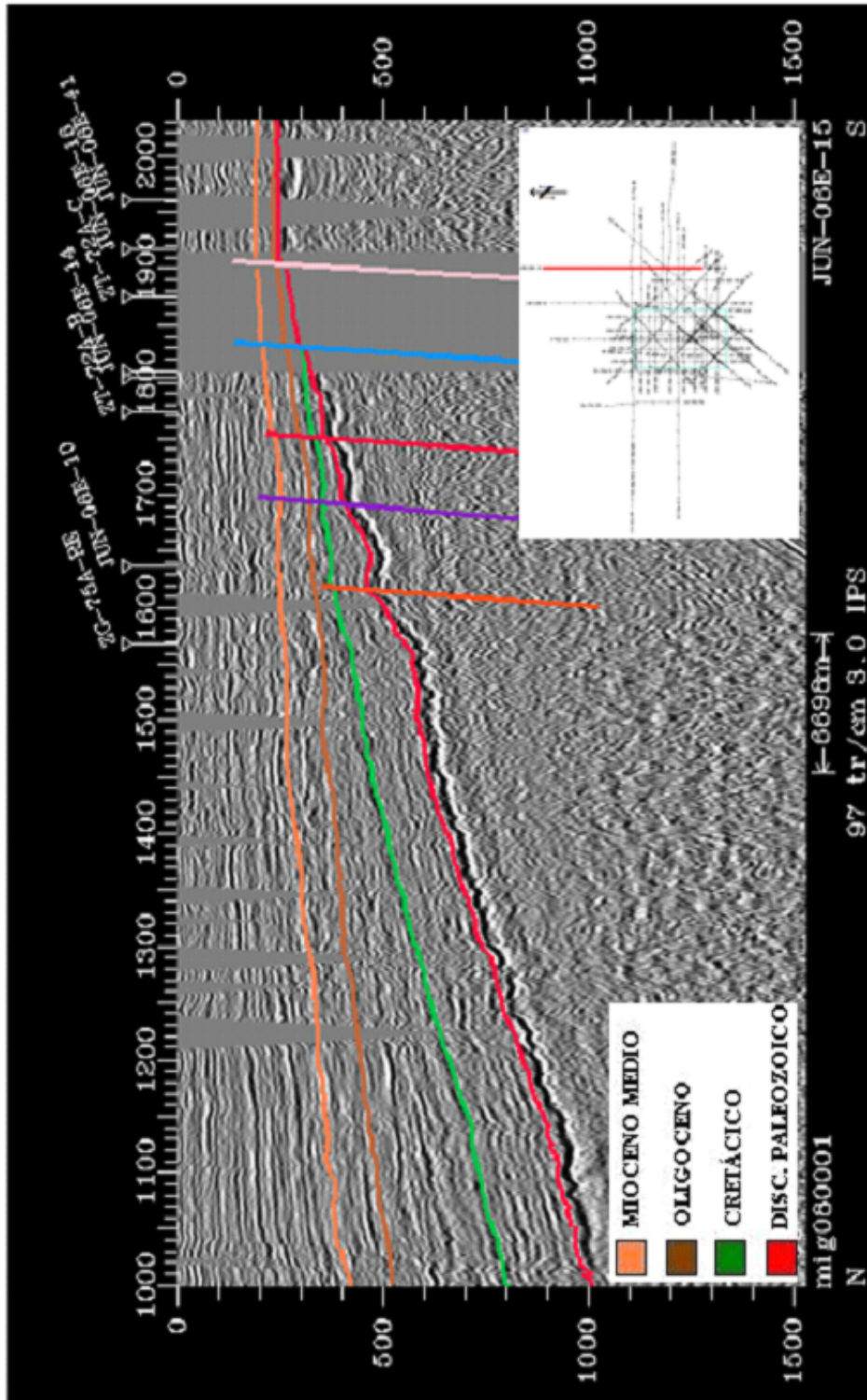


Figura 26. Sección sísmica 2D JUN-06E-15 con horizontes y fallas interpretados.

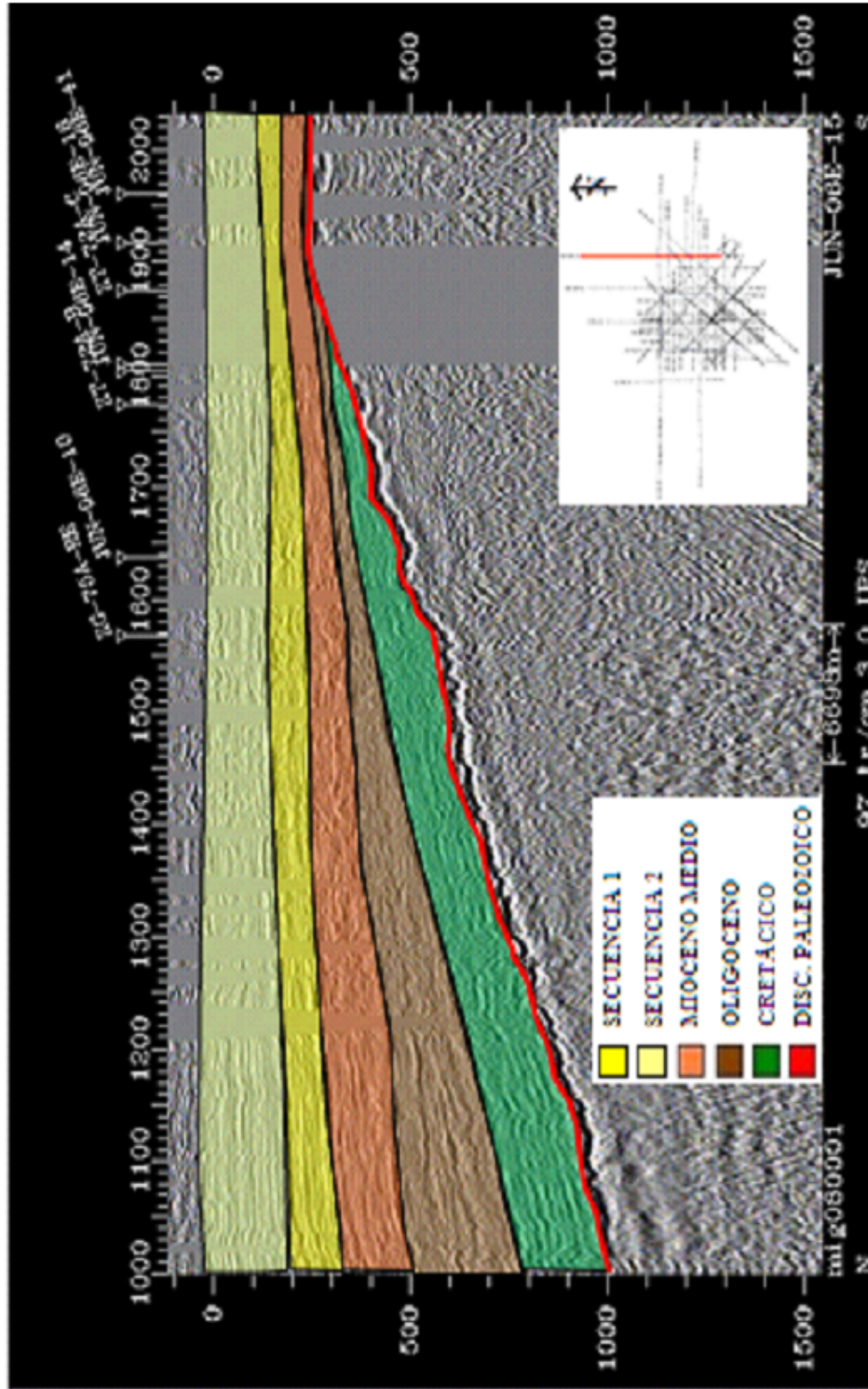


Figura 27. Sección sísmica 2D JUN-06E-15 con reflectores fuertes suprayacentes a topes geológicos interpretados.

La correspondencia entre el registro de pozo de rayos gamma (GR) del estudio litológico para cada pozo y la interpretación de los horizontes es apreciable debido al ajuste entre los sintéticos realizados y la sísmica, como se puede observar en la figura 29, donde se aprecia un acercamiento de los registros GR de los pozos IZZ0093 e IZZ0094 y la correlación entre los horizontes Mioceno Medio, Oligoceno y Discordancia del Paleozoico. En esta sección JUN-06E-15 se observa que no se encuentra presente en toda la extensión el horizonte perteneciente al Cretácico ya que se acuña contra la Discordancia del Paleozoico, así como también el horizonte perteneciente al Oligoceno, donde se pudo definir que dichas secuencias se encuentran específicamente hacia el norte donde el buzamiento incrementa; un ejemplo de esto se puede observar de manera regional en la figura 28 donde la escala de colores señala el tiempo en milisegundos a los que se encuentra el horizonte Oligoceno y el polígono de color rojo señala los límites del bloque Junín 2, obsérvese que no se encuentra presente en la zona sur del bloque Junín 2.

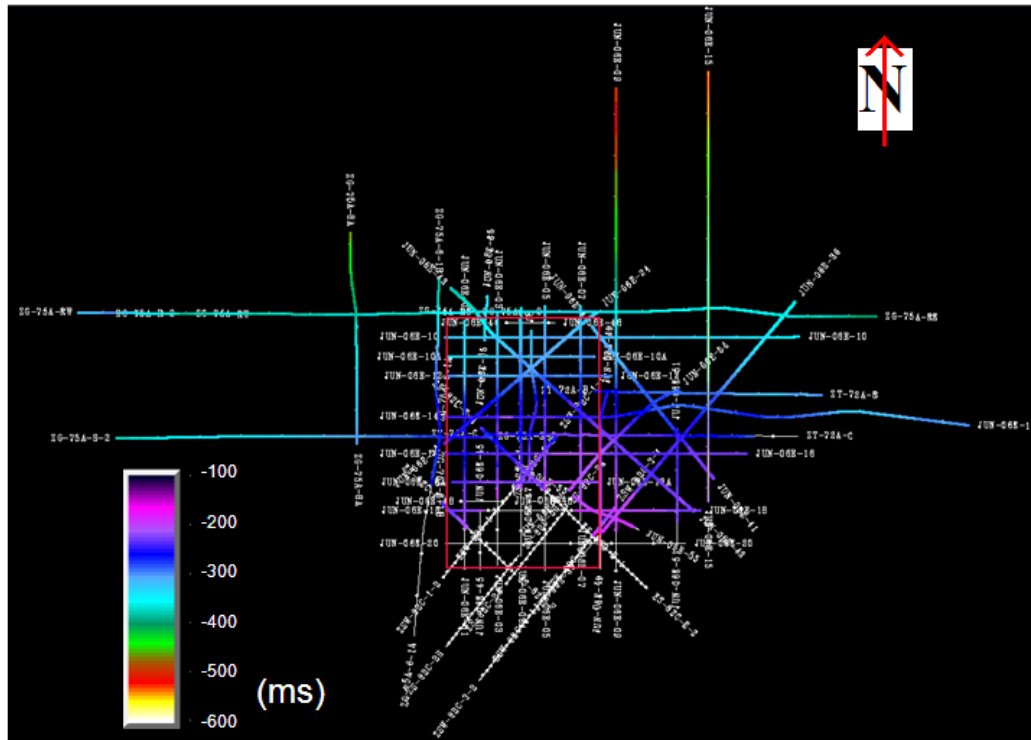


Figura 28. Extensión de horizonte Oligoceno interpretado.

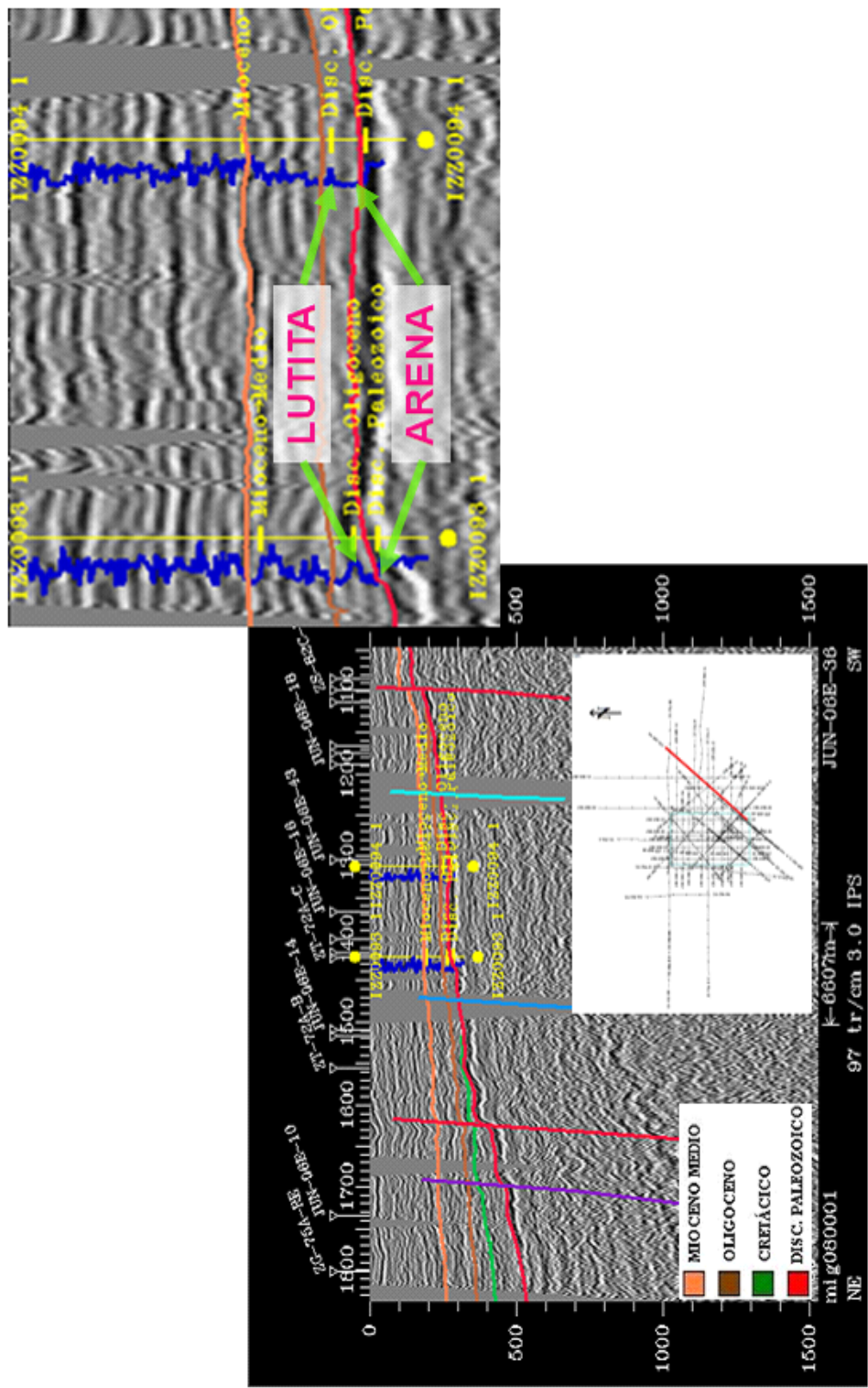


Figura 29. Correspondencia de la interpretación 2D con el registro de Rayos Gamma de los pozos IZZ0093 e IZZ0094 en línea JUN-06E-36



En las secciones sísmicas es visible el acuñaamiento y transgresión debido a la terminación de reflectores, tipo Onlap, contra la Discordancia de Paleozoico como se muestra en la figura 30.

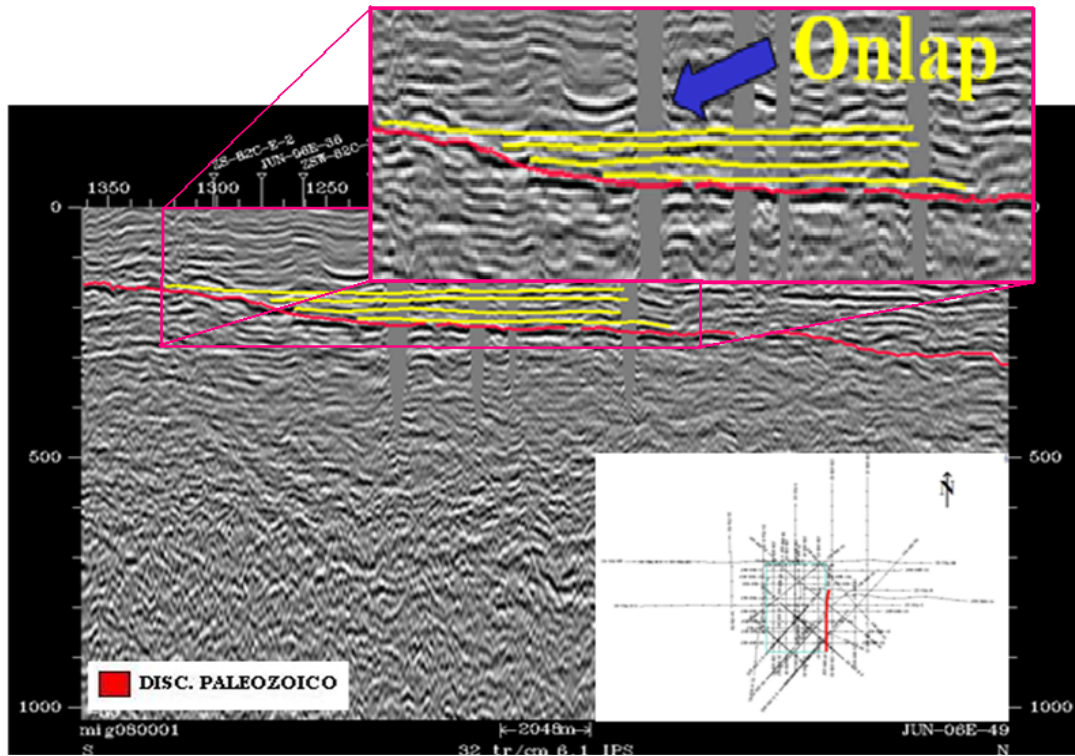


Figura 30. Evidencias de terminación Onlap en las secuencias sísmicas.

En la zona sur del bloque se pudo apreciar la presencia de un alto en la Discordancia del Paleozoico (Paleo Alto), que está afectado por el sistema de fallas normales con dirección NE-SO y una falla con orientación similar a  $N30^{\circ}-45^{\circ}W$  descrito por Talwani (2002) y sobre el cual se encuentra suprayacente la secuencia del Mioceno Medio. La forma de este Paleo Alto puede deberse a efectos de erosión, lo que se evidencia en la sísmica como la desaparición de los reflectores pertenecientes al Paleozoico en esa zona (figura 31). Los buzamientos calculados para los horizontes fueron de  $10^{\circ}$ ;  $6^{\circ}$ ;  $3^{\circ}$  y  $2^{\circ}$  respectivamente de la Discordancia del Paleozoico al Mioceno Medio.

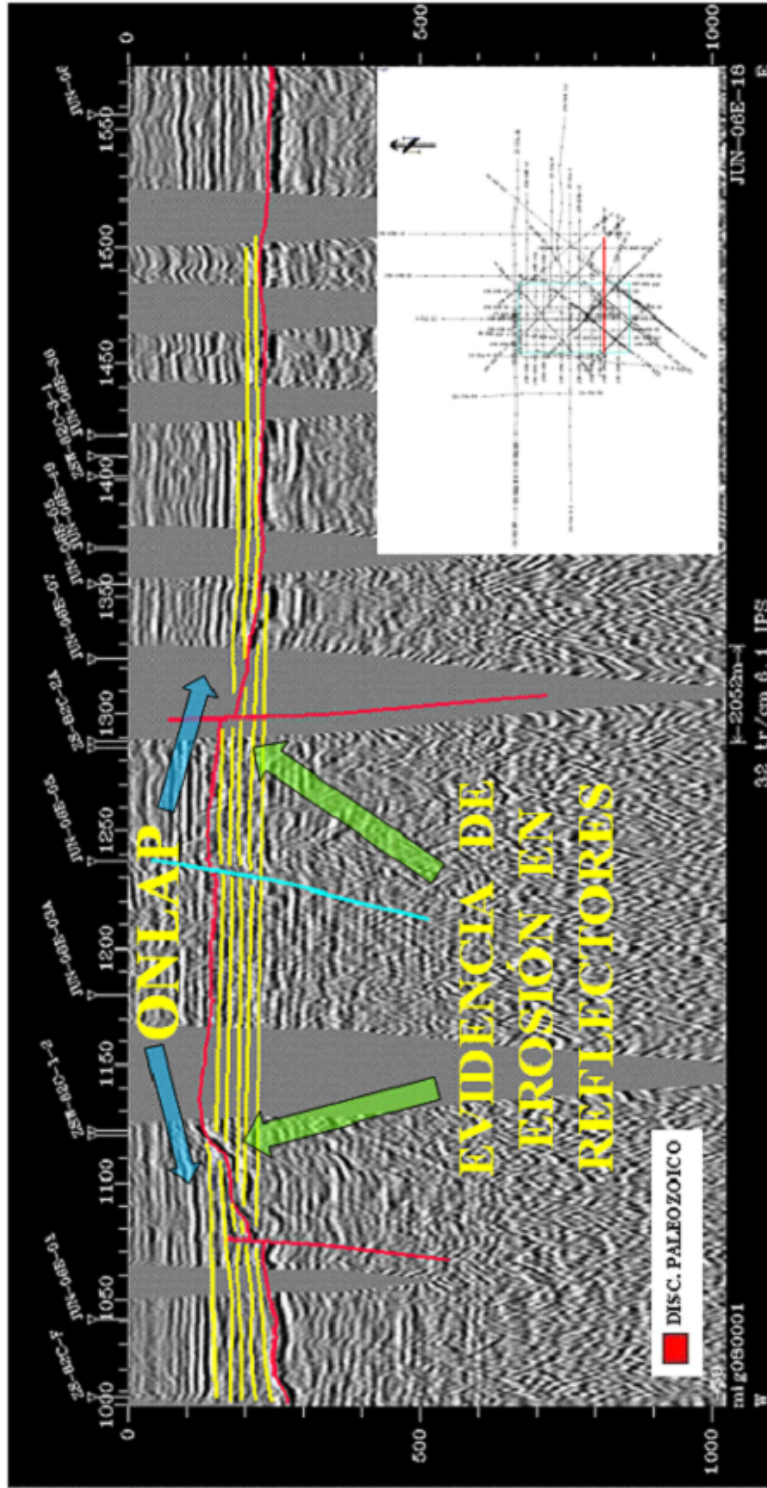


Figura 31. Paleo Alto en la zona Sur del bloque Junin 2. Obsérvese la evidencia de erosión en los reflectores pertenecientes al Paleozoico por debajo de la Discordancia, así como también terminaciones Onlap por encima de la Discordancia en la línea JUN-06E-10.

### 5.3 Mapas de superficies en tiempo

Los mapas de superficies en tiempo pueden ser divididos en dos zonas, Campo 1 y Campo 2, debido a la forma de las estructuras geológicas.

La zona Campo 1 posee un gradiente alto en todas las superficies, con orientación variante gradual de las curvas de tiempo, de este – oeste para la superficie de la Discordancia del Paleozoico hasta llegar a una orientación aproximada de N40°E para la superficie del Mioceno Medio; como características individuales, la superficie Cretácico se acuña contra la Discordancia del Paleozoico, y la superficie del Mioceno Medio se encuentra un cierre local con forma ovalada y orientación este – oeste cercano al pozo IZZ9975; los mapas de superficies en tiempo para la Discordancia del Paleozóico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno Medio se pueden observar en las figuras 32 a 35 respectivamente.

La zona Campo 2 no es descrita para la superficie Cretácico ya que allí no existe; en esta zona se encontró un alto estructural de la Discordancia del Paleozoico, el cual posee el mayor gradiente en la dirección norte – sur, su forma es ovalada y elongada en la dirección este – oeste, luego del Paleo Alto el gradiente disminuye considerablemente hasta llegar a la zona central (figura 32). La superficie Oligoceno se acuña contra el Paleo Alto con un gradiente suave y la superficie Mioceno Medio suprayace a la Discordancia, siguiendo la misma forma del Paleo Alto. Para esta última superficie el gradiente aumenta al este del alto, posiblemente por la presencia de la falla con orientación aproximada de N30°-45°W interpretada en el lugar. Las superficies tridimensionales en tiempo de la Discordancia de Paleozóico, Cretácico, Oligoceno y Mioceno Medio pueden ser observadas en las figuras 51 a 54 de los anexos, respectivamente.

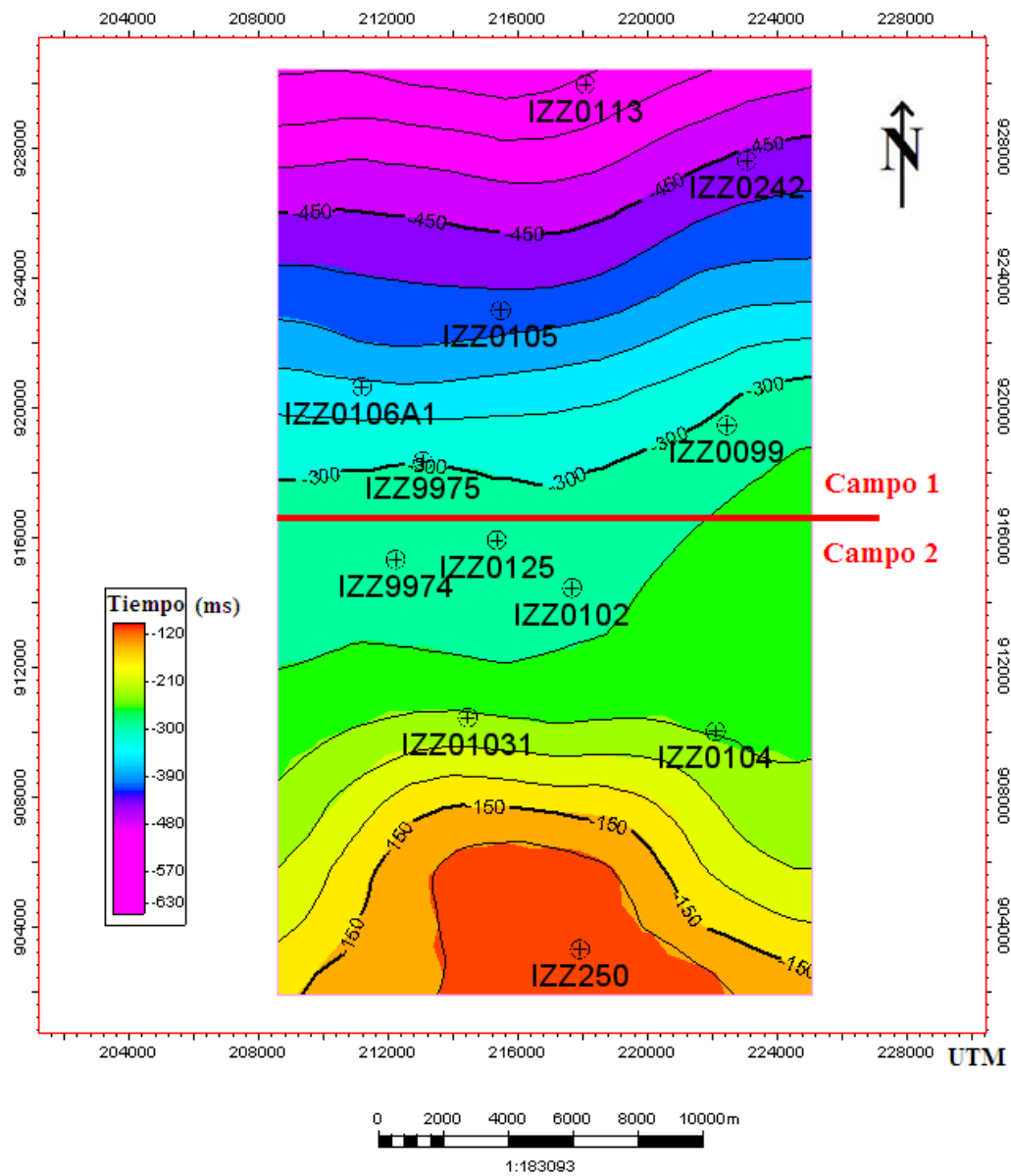


Figura 32. Mapa de la superficie Discordancia del Paleozoico en tiempo.

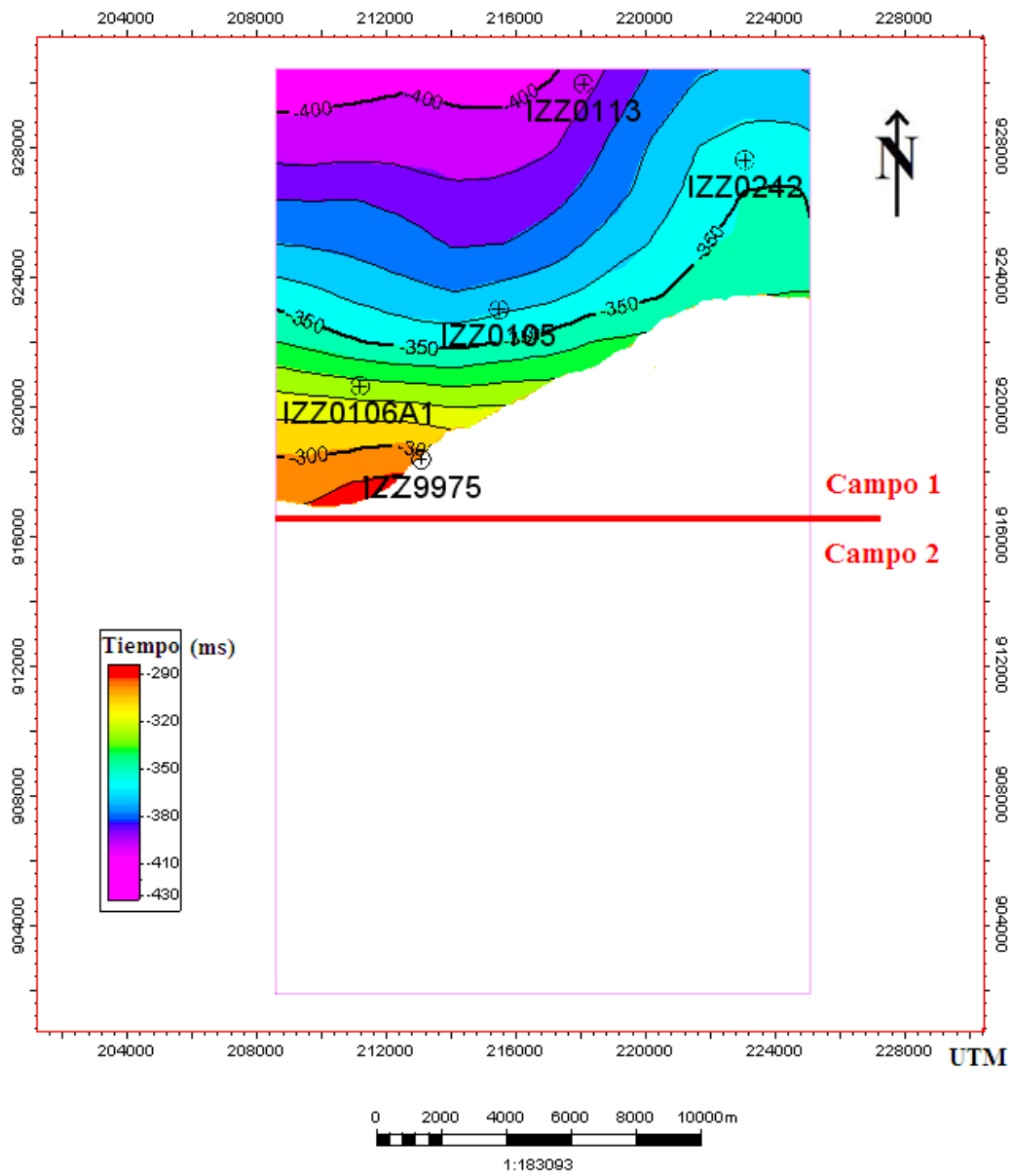


Figura 33. Mapa de la superficie Cretácico en tiempo.

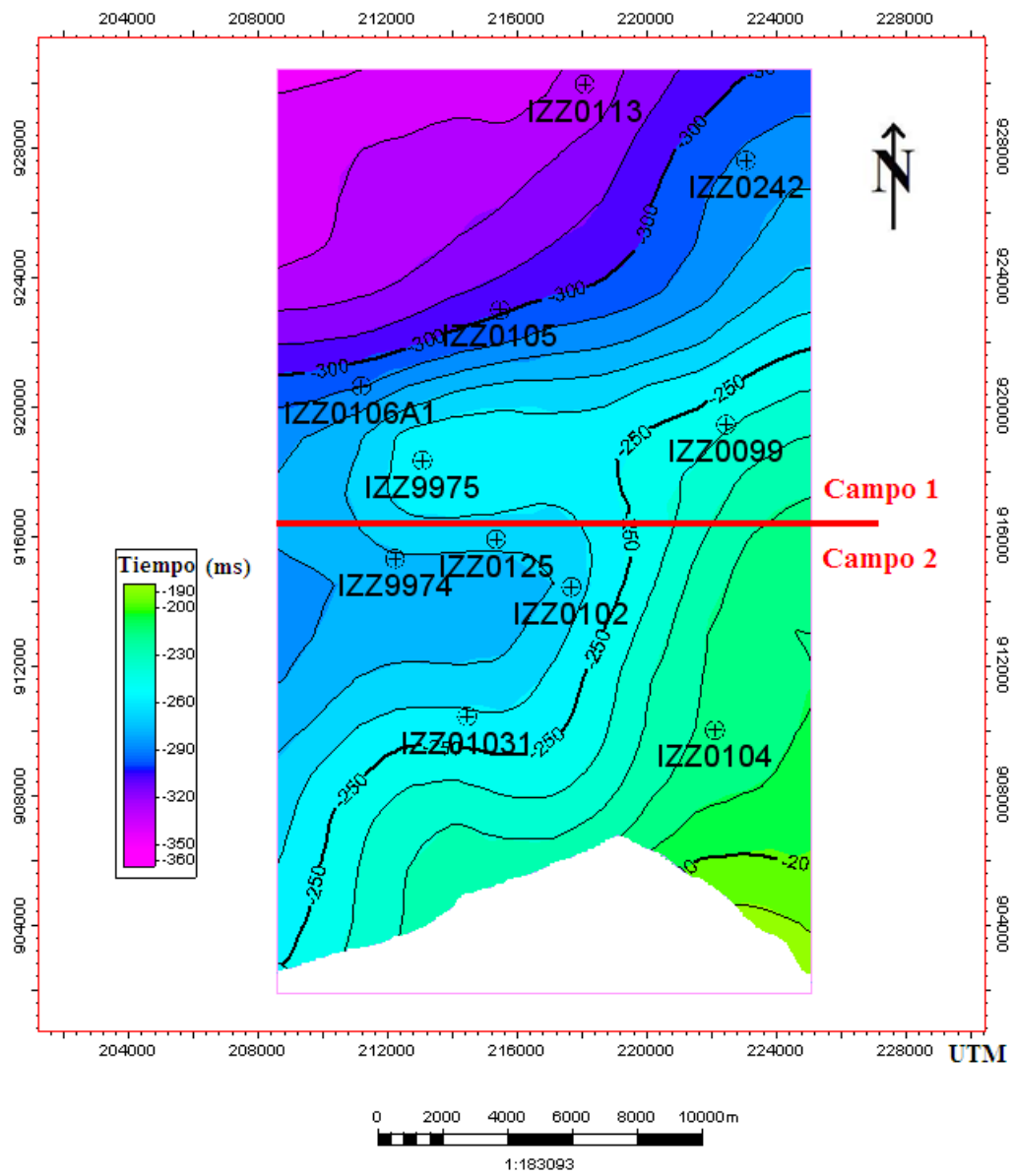


Figura 34. Mapa de la superficie Oligoceno en tiempo.

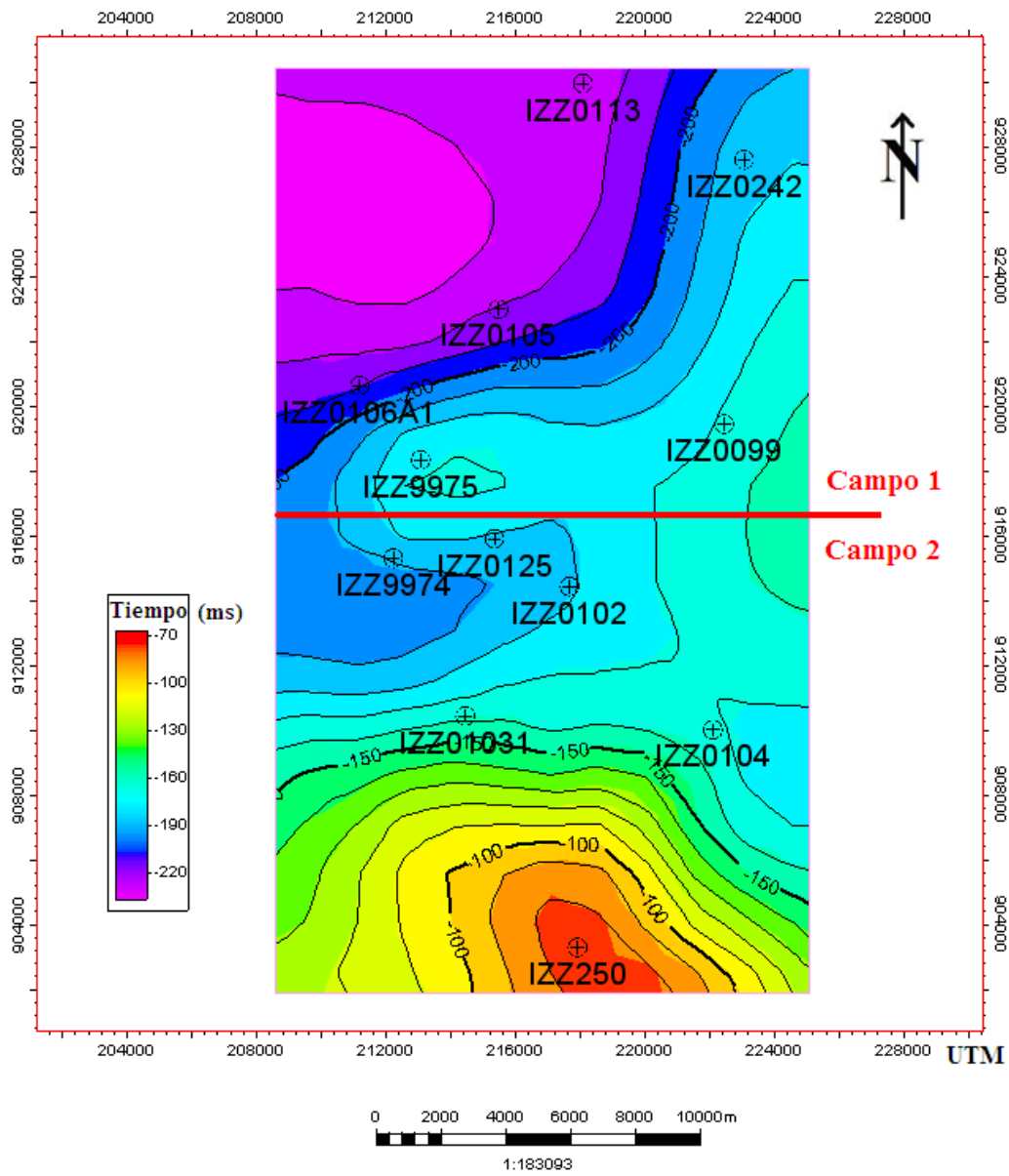
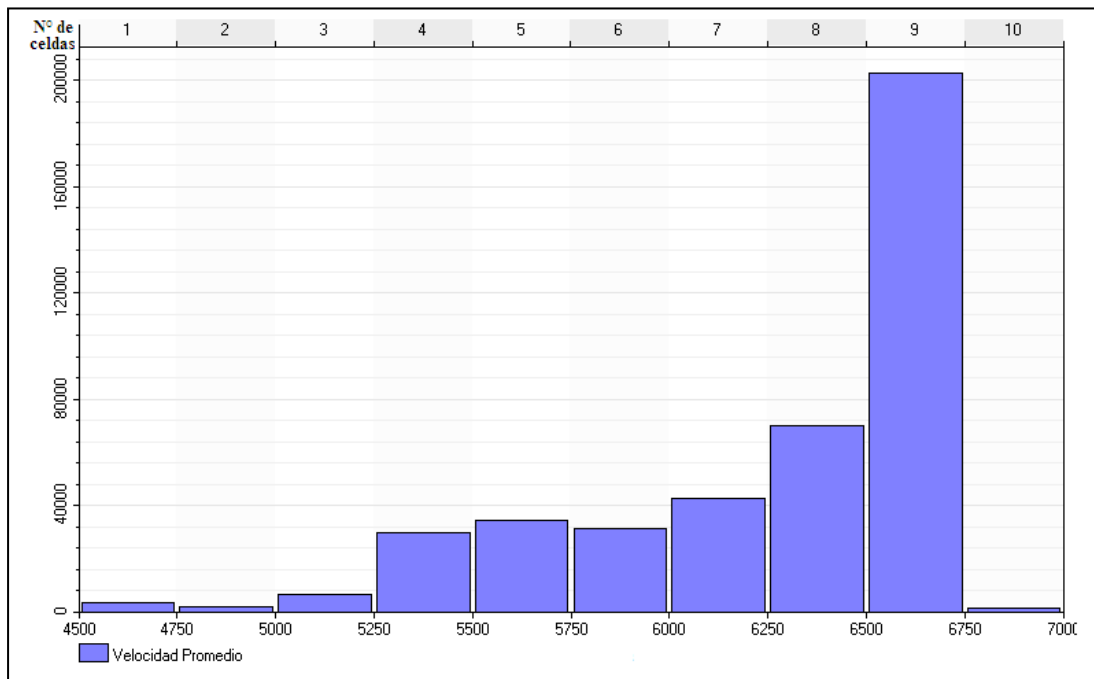


Figura 35. Mapa de la superficie Mioceno Medio en tiempo.

## 5.4 Interpretación estructural 3D

### 5.4.1 Modelo de velocidad

De la estadística realizada en la construcción del modelo de velocidad, el histograma de valores de velocidad promedio en el cubo muestra que la mayor cantidad de datos se encuentra en el rango de 6500 ft/s a 6750 ft/s (figura 36).



**Figura 36. Histograma de valores de velocidad promedio en el cubo de velocidad.**

De los valores mostrados en el histograma resultó un cubo de velocidad con una distribución lógica de velocidades en todo el bloque de estudio (figura 37).



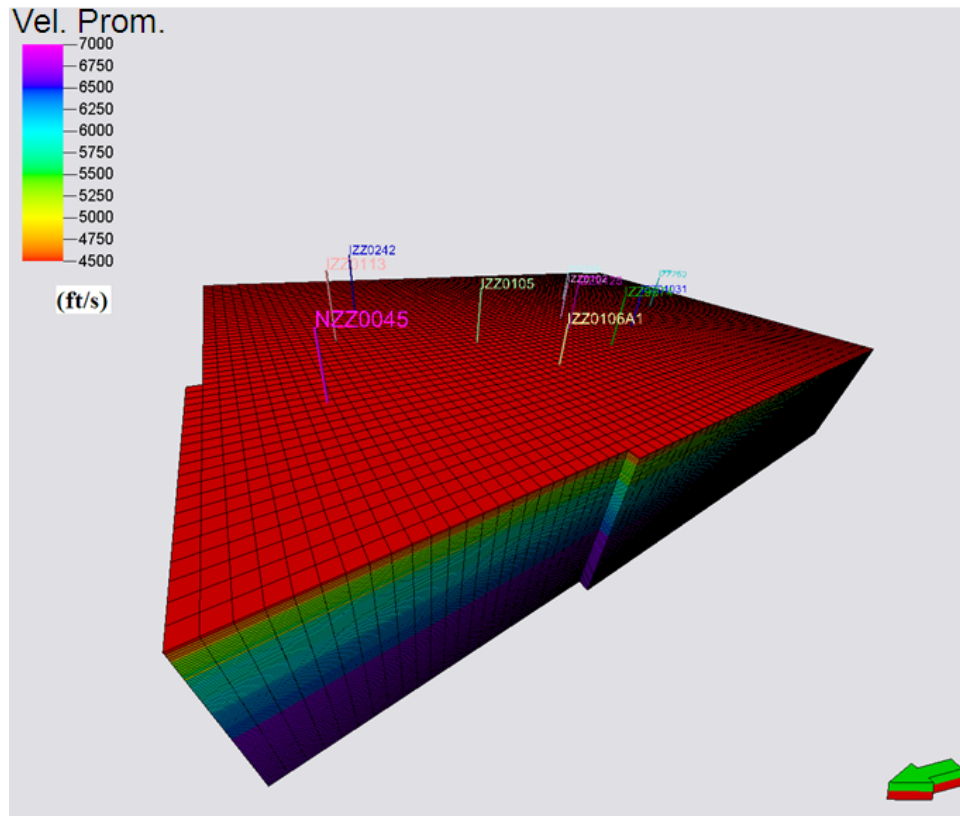


Figura 37. Cubo de velocidad promedio.

#### 5.4.2 Superficies en profundidad

Las superficies buzanan generalmente hacia el norte debido a la forma de la estructura geológica que allí se encuentra, correspondiente a la parte sur de la Cuenca Oriental. En la superficie Discordancia del Paleozoico (figura 38), cuya profundidad varía entre los 300 ft y 1820 ft, se observan tres zonas: al sur un alto estructural de forma elongada en dirección este – oeste y con un gradiente máximo de 85 ft/km y un gradiente mínimo de 60 ft/km, en la parte central el gradiente es el menor en toda la superficie llegando a ser de 5 ft/km, lo que indica que la zona es similar a una planicie; al norte la superficie posee un buzamiento fuerte, con un gradiente que va incrementando de 30 ft/km a 60 ft/km hacia el norte.

La superficie Cretácico (figura 39), buza al noreste, posiblemente debido a la forma de depositación, la cual se acuña contra la Discordancia del Paleozoico, con un gradiente aproximado de 70 ft/km, excepto en su parte central donde el ángulo de buzamiento disminuye considerablemente, con un gradiente mínimo de 4 ft/km, dicha superficie varía su profundidad entre los 950 ft y 1400 ft.

La superficie correspondiente al Oligoceno (figura 40), posee un buzamiento suave hacia el norte, el cual varía entre un máximo y mínimo gradiente de 20 ft/km y 3,75 ft/km respectivamente; su parte más profunda se encuentra al noreste siguiendo la tendencia de depositación del Cretácico, así como también, se acuña con la Discordancia del Paleozoico al sur con un rango de profundidad entre 680 ft y 1100 ft; esta superficie posee dos cierres locales máximos, los cuales se pueden atribuir a efectos del levantamiento y erosión ocurrida debido a la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana sucedida en esta época.

La superficie Mioceno Medio (figura 41), posee un gradiente máximo de 40 ft/km y mínimo local de 4 ft /km siendo mayor hacia el sur, en la zona que suprayace al alto estructural de la Discordancia del Paleozoico, para luego disminuir hacia el norte, siendo considerablemente horizontal; su profundidad varía entre 200 ft y 650 ft aproximadamente. Esta superficie sigue la forma de depositación de los sedimentos infrayacentes en la cual la mayor profundidad se encuentra la noreste del bloque.

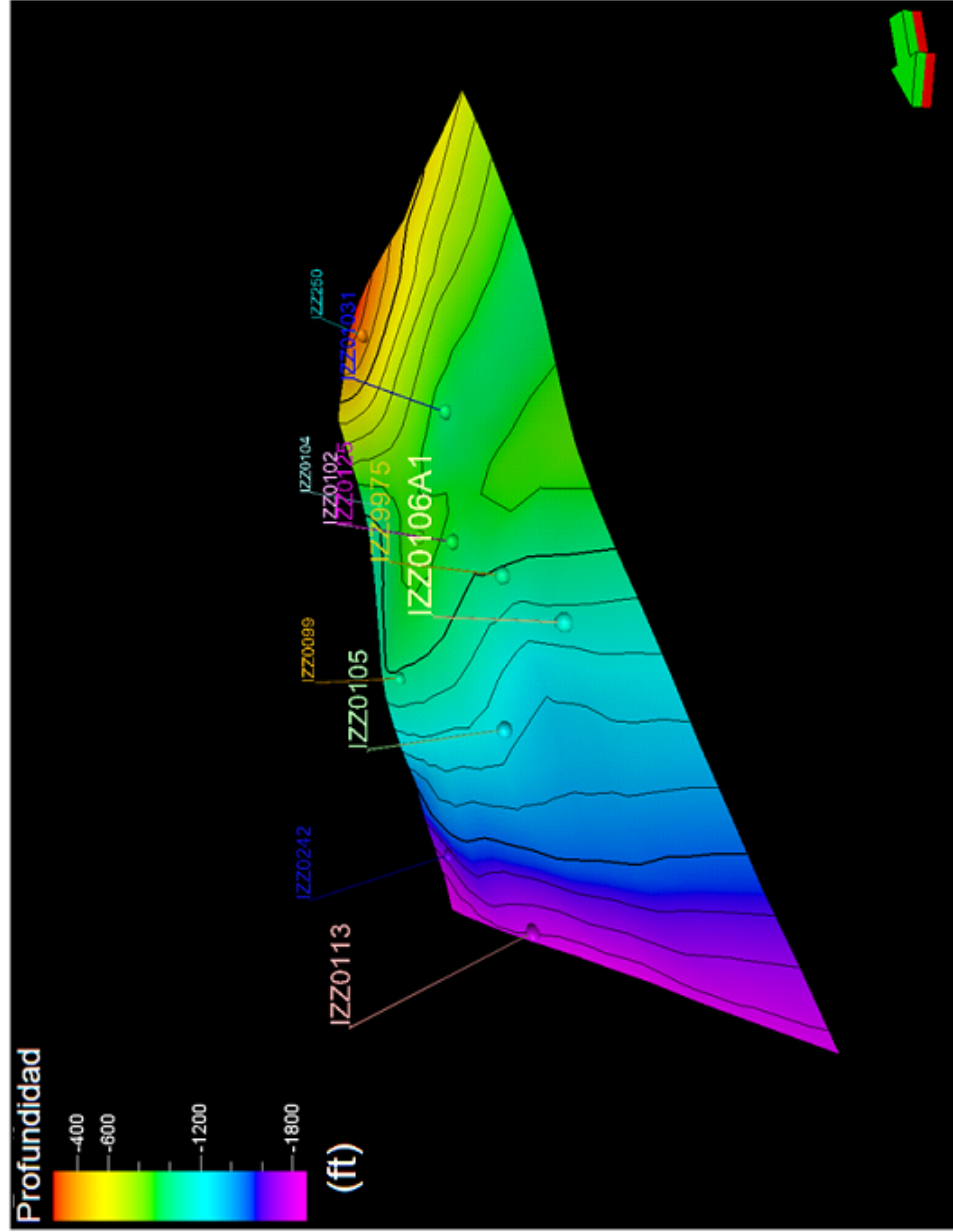


Figura 38. Superficie Discordancia del Paleozoico en Profundidad.

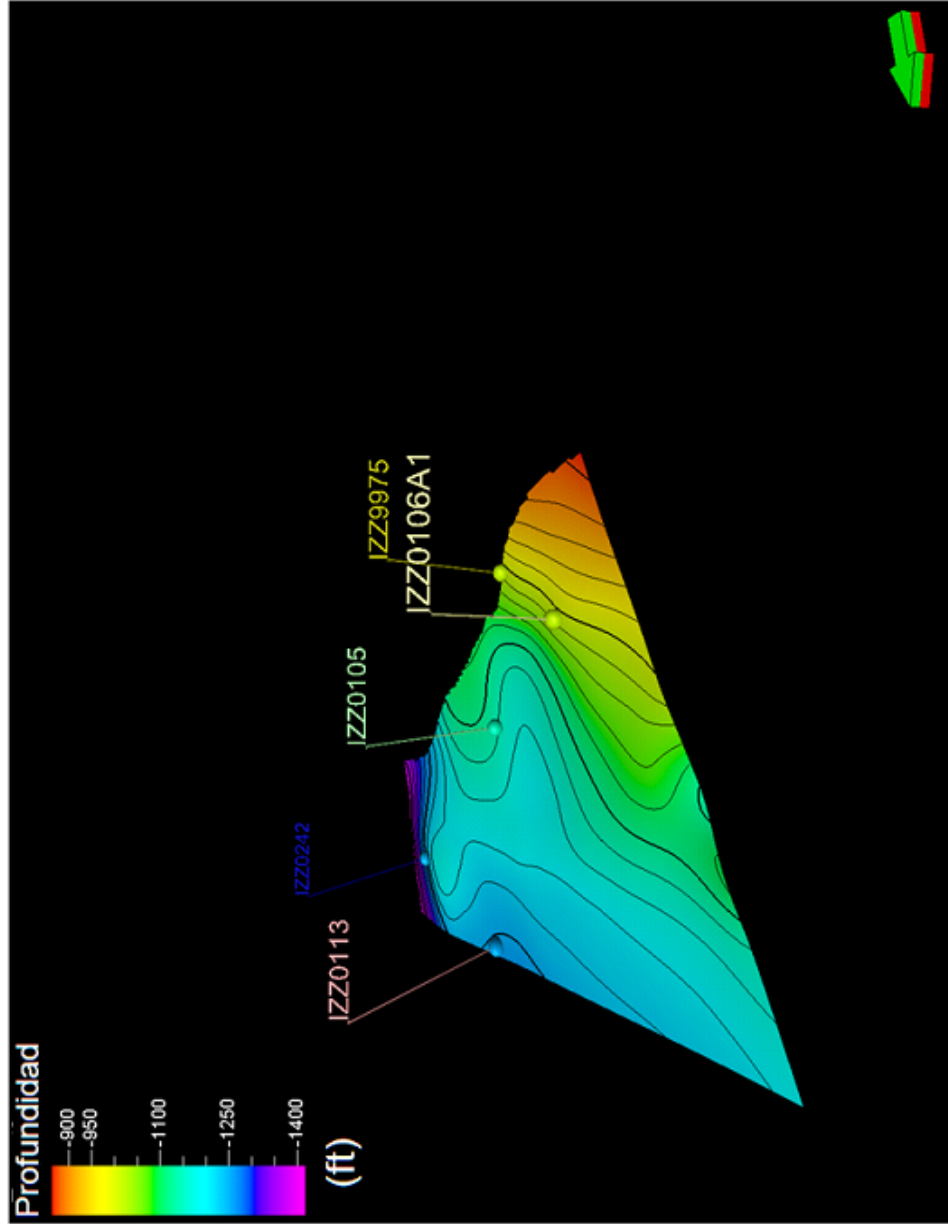


Figura 39. Superficie Creteico en Profundidad.

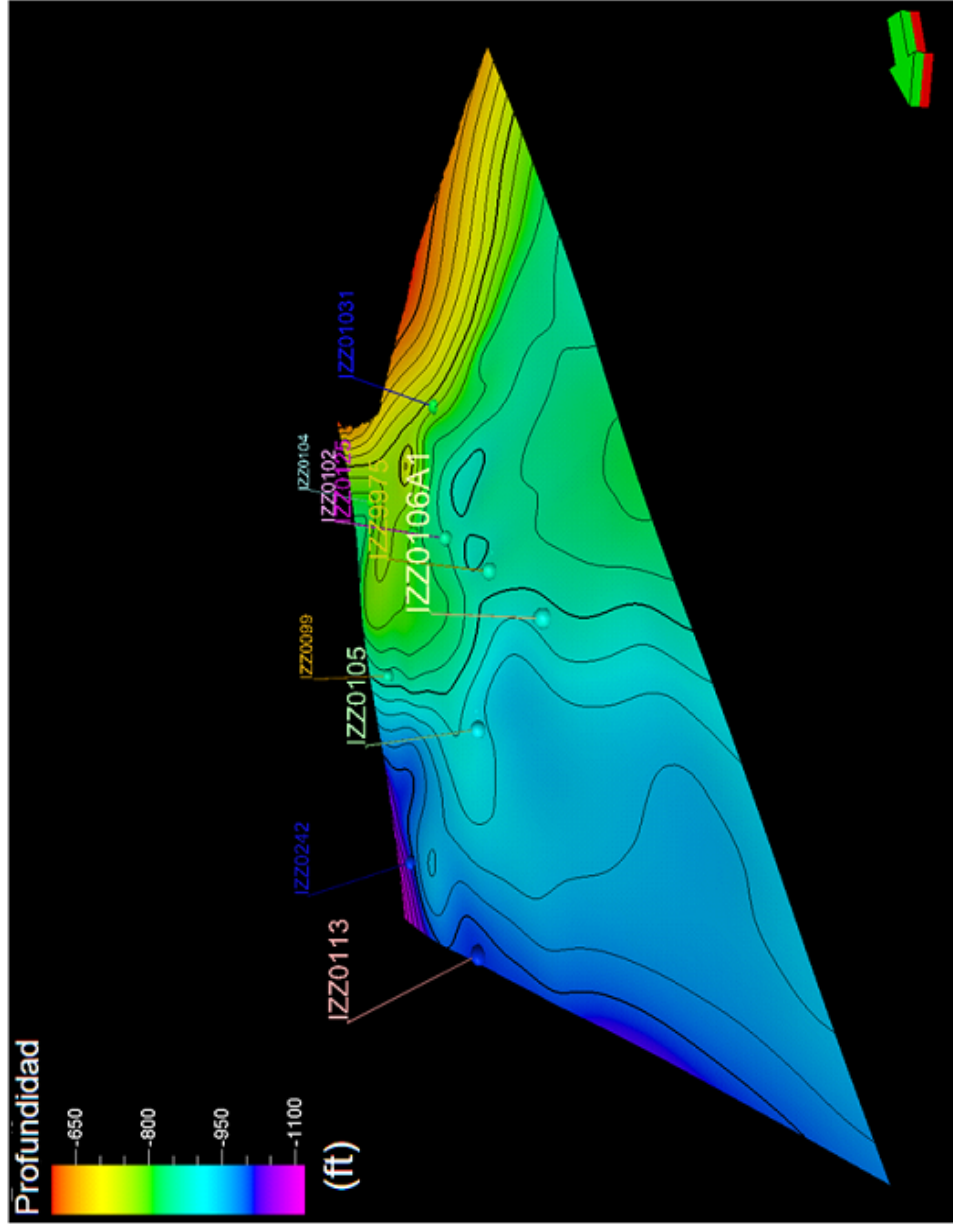


Figura 40. Superficie Oligoceno en Profundidad.

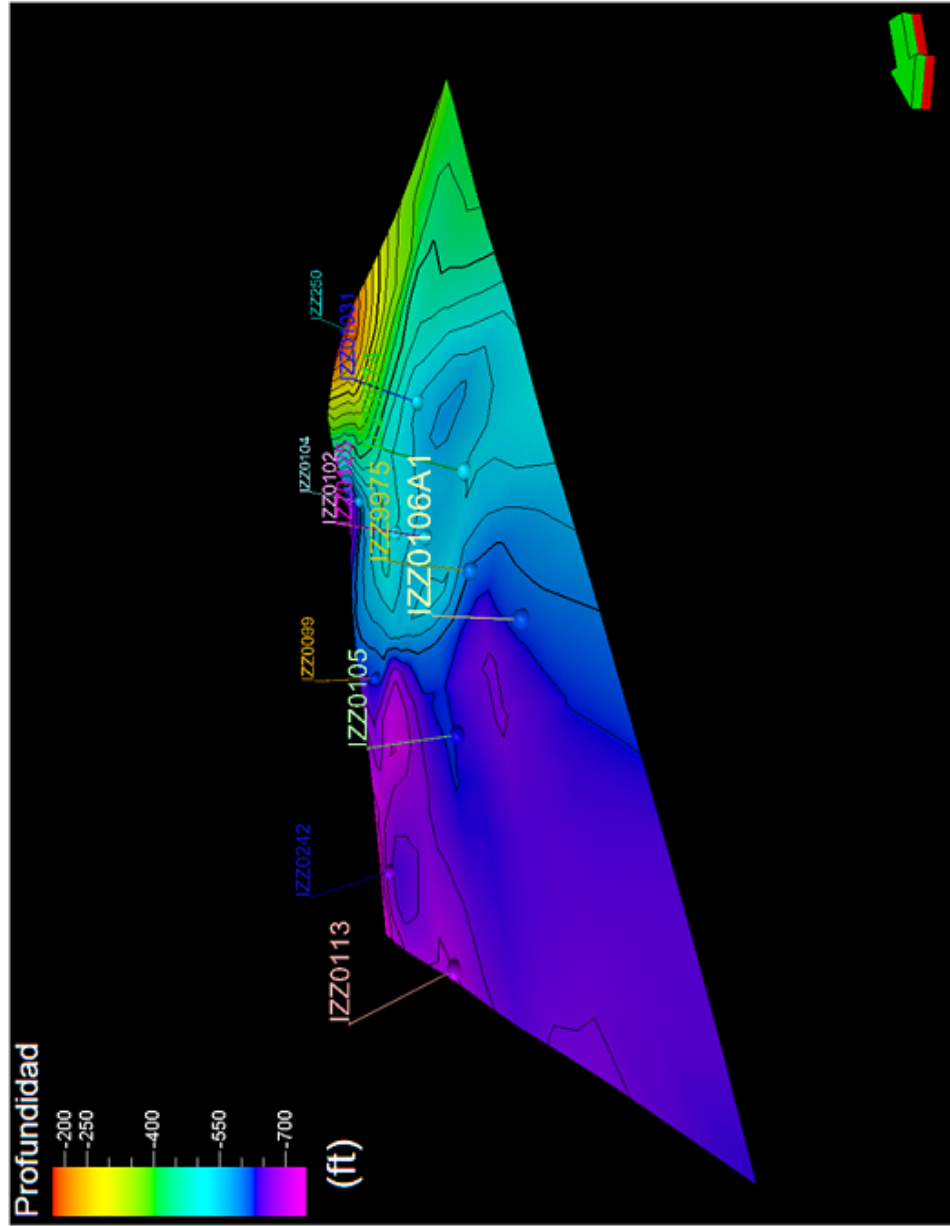


Figura 41. Superficie Mioeno Medio en Profundidad.

### 5.4.3 Modelado geológico estructural 3D

El sistema de fallas está compuesto por fallas normales y en “echelón”, con orientación este – oeste variando a una componente N75°E aproximadamente, orientación atribuida, por Talwani (2002), a una tendencia paralela a la dirección predominante de las rocas más antiguas en el Escudo de Guayana, así como también fallas con orientación aproximada de N30° – 45°W, que como Talwani (2002) describe, refleja la tendencia topográfica prominente del Pre – Terciario y todas poseen un salto aparente no mayor a 30 ft. El buzamiento de las fallas en su mayoría es al norte y sólo algunas (F4 y F10) buzaban al sur por reacomodo, esto puede observarse en la figura 42, que representa una vista en planta de dichas fallas en el bloque.

La falla F1 pudo haber sido formada en el Cretácico y la falla F2 en el Oligoceno debido a que en las secciones sísmicas se observa que solo afectan a las secuencias hasta el tope geológico correspondiente, las demás fallas afectan a todas las secuencias interpretadas hasta el Mioceno Medio, a medida que nos acercamos a la zona de acuñaamiento del Cretácico y Oligoceno contra la Discordancia del Paleozoico, y a la suprayacencia de dicho Mioceno Medio a la Discordancia (figura 43).

Talwani (2002), describe que la mayor actividad tectónica de la zona durante la separación de Yucatán y la Placa Suramericana es el fallamiento como consecuencia del margen de esfuerzos extensivos, característico de la formación y evolución de la Cuenca Oriental en su parte sur durante la etapa de “rift”, lo cual se corrobora con el estudio estructural del bloque Junín 2.

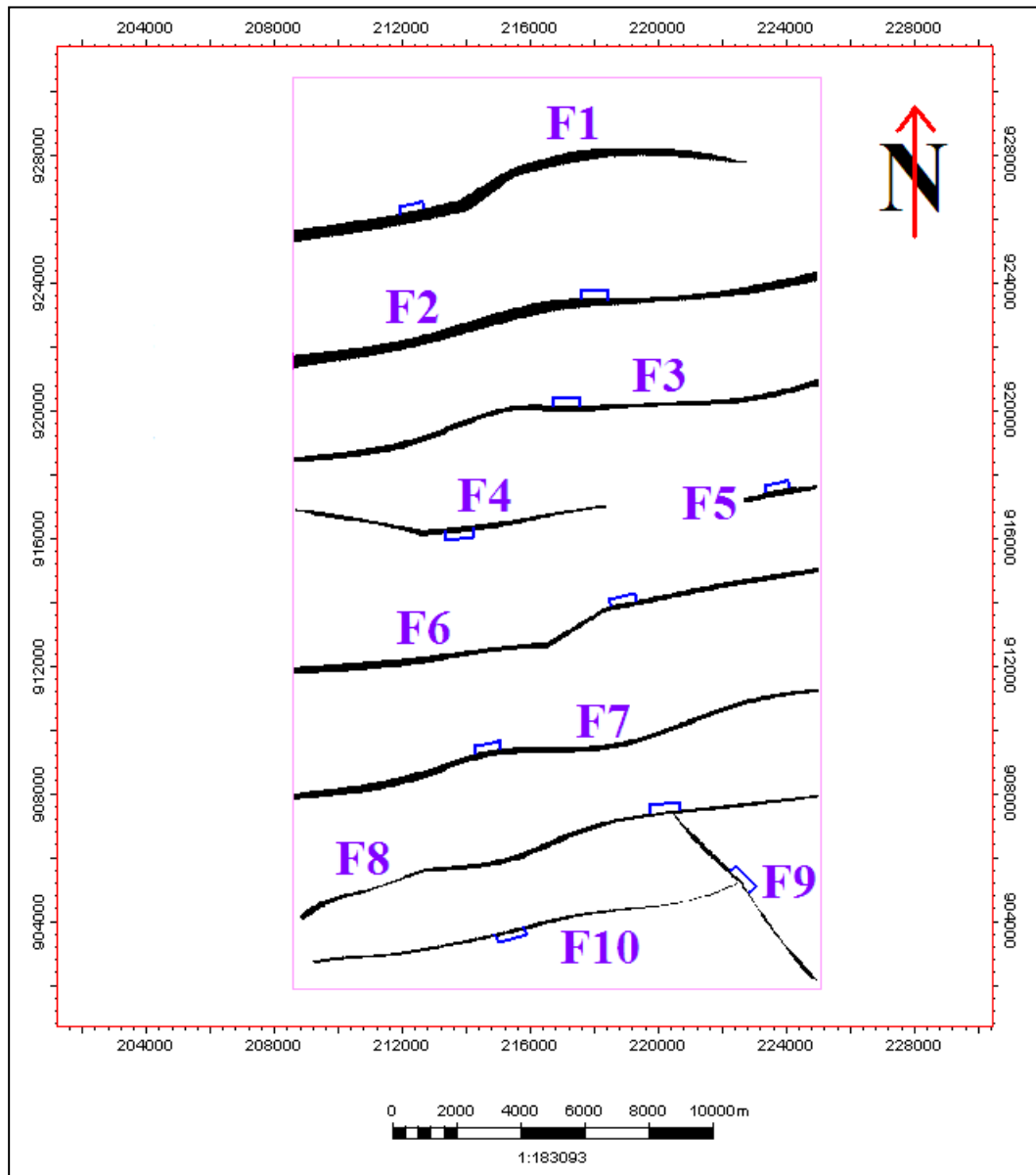


Figura 42. Vista de planta de las estructuras (fallas) del Bloque Junín 2.



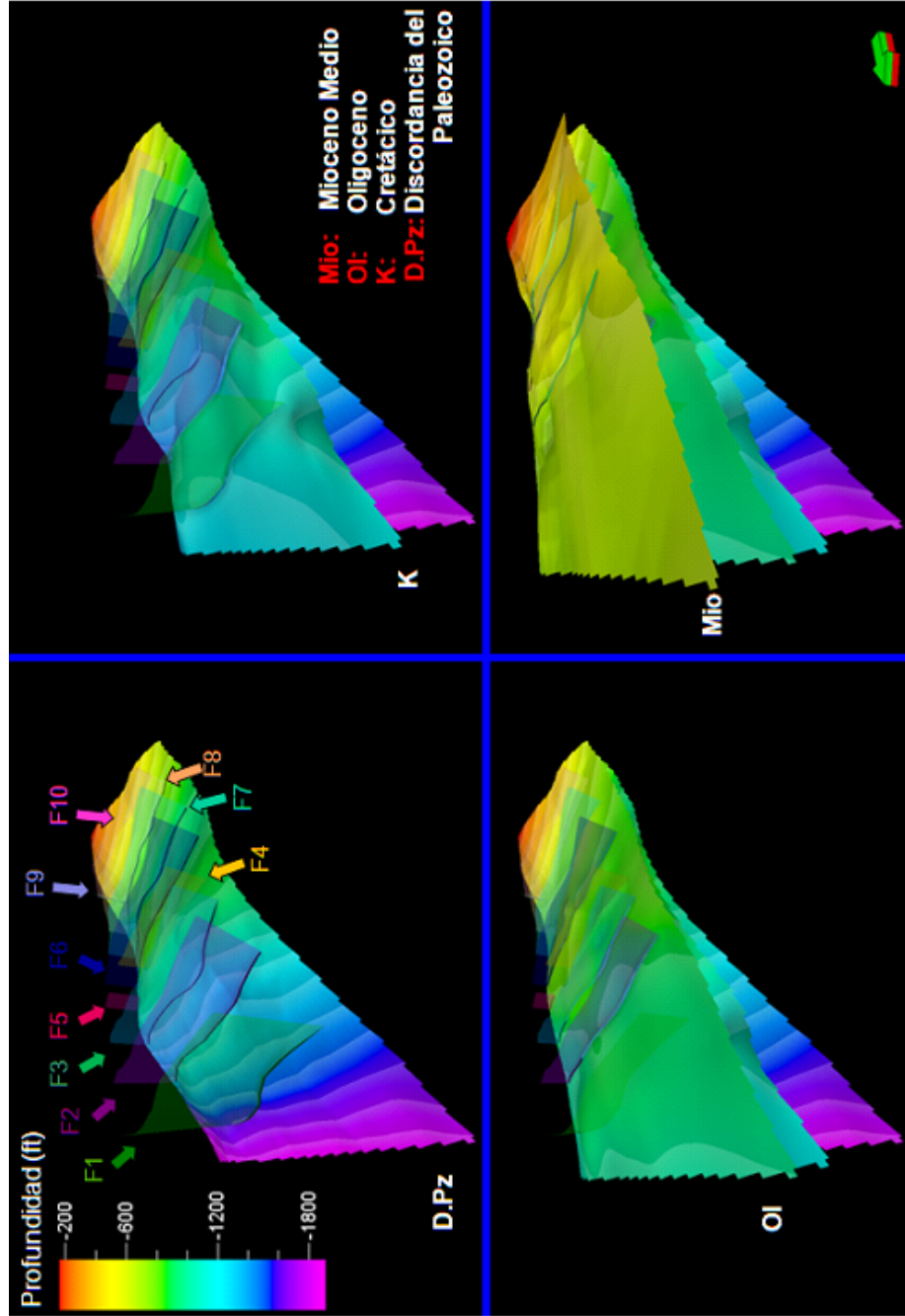


Figura 43. Modelado Geológico estructural 3D del bloque Junin 2 de la Faja Petrolifera del Orinoco. Obsérvese que F1 no afecta al Oligoceno y F2 no afecta al Mioceno Medio. Imagen exagerada 25 veces en su escala vertical.

Para el bloque Junín 2 no se apreció en la sísmica evidencias de fallas inversas, aún así, la evidencia de reactivación de una falla normal a inversa en el Oligoceno en una línea 2D al sur, fuera del bloque, puede ser asociado a la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana ocurrida del Oligoceno al Mioceno Medio, de manera que dicha colisión pudo haber afectado a las fallas del bloque Junín 2 y posiblemente existan fallas inversas que en sísmica no se aprecien, así mismo, pudo haber disminuido el salto de falla en la zona de estudio, más no llegado a invertirse.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La secuencia Cretácico – Terciario en el bloque Junín 2 se encuentra regida por los procesos tectónicos del sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, donde se evidencia en la sísmica los ciclos transgresivos por la terminación onlap de los reflectores. Se caracteriza por tener, en general, un buzamiento mayor hacia el norte, así como también por la presencia de acuñamiento del Cretácico y el Oligoceno contra la Discordancia del Paleozoico y no concordancia del Mioceno Medio por encima del Oligoceno.
- La Discordancia del Paleozoico se caracteriza por ser angular, visible en la mayoría de las secciones sísmicas debido al contraste marcado de su reflector y por tener el mayor buzamiento hacia el norte, varía en profundidad entre los 300 ft y 1820 ft y se divide en tres zonas: al sur un alto estructural de forma elongada en dirección este – oeste, con un gradiente máximo de 85 ft/km en dirección norte – sur y un gradiente mínimo de 60 ft/km; en la parte central el gradiente es el menor en toda la superficie llegando a ser de 5 ft/km, lo que indica que la zona es similar a una plenillanura; al norte la superficie posee un buzamiento fuerte, con un gradiente que incrementa de 30 ft/km a 60 ft/km hacia el norte.
- El Cretácico se evidencia solo por terminaciones onlap, característico de transgresión, el cual se acuña contra la Discordancia del Paleozoico y su contacto superior se evidencia como una discordancia angular regional, así como lo describe Isea (1987). La superficie Cretácico varía entre 950 ft y 1400 ft, se acuña contra la Discordancia de Paleozoico, con un gradiente aproximado de 70 ft/km, excepto en su parte central donde el ángulo de

buzamiento disminuye considerablemente, con un gradiente mínimo de 4 ft/km .

- El Oligoceno, así mismo como el Cretácico, posee terminaciones onlap características de transgresión y se acuña contra la Discordancia del Paleozoico, disminuyendo su espesor hacia el sur. La superficie en profundidad correspondiente al Oligoceno se caracteriza por poseer un buzamiento suave hacia el norte, el cual varía entre un máximo y mínimo gradiente de 20 ft/km y 3,75 ft/km respectivamente; su parte más profunda se encuentra al noreste siguiendo con la tendencia de depositación del Cretácico, se acuña con la Discordancia del Paleozoico al sur con un rango de profundidad entre 680 ft y 1100 ft; los dos cierres locales máximos pueden atribuirse a efectos del levantamiento y erosión ocurrido debido a la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana.
- El Mioceno Medio se caracteriza por depositarse de manera no concordante, por sus terminaciones onlap. Hacia el sur suprayace a la Discordancia del Paleozoico y en la zona del Paleo Alto disminuye su espesor, esta secuencia en las secciones sísmicas posee poca coherencia lateral, lo cual dificultó su interpretación. La superficie Mioceno Medio varía entre 200 ft y 650 ft aproximadamente con un gradiente máximo de 40 ft/km en la zona norte y central, y un gradiente mínimo de 4 ft /km hacia el sur en la zona que suprayace al Paleo Alto.
- Como estructuras geológicas principales en la secuencia Cretácico – Terciaria del bloque Junín 2 se encontraron fallas normales de salto no mayor a 30 m, con orientación, en su mayoría, este – oeste y un alto estructural (Paleo Alto) de la Discordancia del Paleozoico con evidencias de erosión, el cual posee mayor gradiente en la dirección norte – sur, de forma ovalada y elongada en la dirección este – oeste, hacia el sur de dicho bloque.

- En el modelo estructural tridimensional del bloque Junín 2, la configuración del sistema de fallas está compuesto por fallas normales y en “echelón” con buzamiento al norte en su mayoría y algunas al sur por reacomodo y es posiblemente debida al margen extensional (“rift”) ocurrido en el Mesozoico inferior como señala Talwani (2002), en el cual, la separación entre Yucatán y la Placa Suramericana crea un intenso fallamiento.
- La tendencia predominante de la mayoría de las fallas es este – oeste variando a una componente N75°E aproximadamente, lo cual coincide con la orientación de grandes fallas como Carrizal, ubicada al norte del bloque, dicha orientación es atribuida por Talwani (2002) a una tendencia paralela a la dirección predominante de las rocas más antiguas en el Escudo de Guayana. La orientación de la falla F9 aproximada a N30° – 45°W, se debe posiblemente al reflejo de la tendencia topográfica prominente del Pre – Terciario como Talwani (2002) describe.
- En las estructuras geológicas de la zona posiblemente existan fallas inversas que en sísmica no se aprecien, aún así, la evidencia de reactivación de una falla normal a inversa en el Oligoceno en una línea 2D al sur, fuera del bloque, puede ser asociado a la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana y dicha evidencia puede ser considerada en el sistema de fallas del bloque Junín 2, donde el salto pudo haber sido disminuido por el evento tectónico compresivo.
- Las fallas F1 y F2 pudieron haber sido formadas en el Cretácico y en el Oligoceno respectivamente, debido a que en las secciones sísmicas solo afectan a las secuencias hasta el tope geológico correspondiente; las demás fallas afectan la secuencia hasta el Mioceno Medio.

- Los resultados obtenidos en la correlación de sintéticos con la sísmica fue generalmente buena y esto se puede corroborar con la correspondencia entre los eventos sísmicos y el comportamiento de los registros litológicos rayos gamma (aumento o disminución de la cantidad de isótopos), para cada pozo en la interpretación sísmica.
- La ondícula extraída de la sísmica con fase cero corrobora que dicha fase es óptima en la correlación de eventos ya que asemeja un pulso, es simétrica y su pico de amplitud coincide con el valor de coeficiente de reflectividad.
- El cubo estadístico de velocidades del modelo de velocidad generó una buena conversión a profundidad, comprobado con el pozo ciego IZZ0242, con error entre los topes geológicos del pozo y la superficie interpolada de la interpretación, menor al 1 %, lo cual comprueba su efectividad.
- Con los resultados obtenidos se recomienda realizar una adquisición con orientación noreste de las líneas 2D en la zona sur del bloque Junín 2, para así poder apreciar mejor la disposición y extensión del alto estructural, así como también mayor cantidad de pozos en el sur de este bloque que permitan una mejor caracterización de la litología.
- También se recomienda tener los datos de velocidades de apilamiento de las secciones sísmicas para tener menor incertidumbre en los modelos geológicos estructurales en profundidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bochkarev, V., Guerra, C., Solorzano, E., Morales, E. (2007). Estudio Geológico en área Junín. PDVSA y LUKOIL Oil Company.
- Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (1997). Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV). PDVSA – INTEVEP.
- Durán, Evert (2007). Inversión gravimétrica 3D en el Graben de Espino. Universidad Simón Bolívar. 129 pp.
- Fasola, A., G. Giffunni, S. Crespo, I. Paredes y A. Uribe (1985). Estudios bioestratigráficos del intervalo Cretáceo superior (Maestrichtiense) a Mioceno inferior en el norte del estado Guárico, Venezuela. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 1: 588-645.
- Foster, Smith (1981). Evaluación de la Faja Petrolífera del Orinoco ÁREA MACHETE. CORPOVEN. Vol. VI. P. 74
- Funkhouser, H. J., Sass, L. C., and Hedberg, H. D. (1948). “Santa Ana, San Joaquín, Guárico and Santa Rosa oil fields (Anaco fields), central Anzoátegui, Venezuela”. Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull., 32(10): 1851-1908.
- González de Juana C., J. Iturralde de Arozena y X. Picard (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ed. Foninves, 2 tomos, pp. 1021.
- Hedberg, H. and H. Funkhouser (1947). Oilfields of the Greater Oficina Area, central Anzoátegui, Venezuela. AAPG, 31(12): 2089-2169.

- Isea, A. (1987). Geological syntesis of the Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela. *Journal of Petroleum Geology*, 10(2): 135-148.
- Kiser (1987). Exploration Results, Machete Area, Orinoco Oil Belt, Venezuela. *Journal of Petroleum Geology*, 10(2): 149-162.
- Liner, Christopher L. (2004). Elements of 3D Seismology. Segunda edición, Departamento de Geociencias de la Universidad de Tulsa, Oklahoma, E.E.U.U. p. 403-427.
- Parnaud, F., Y. Gou, J-C. Pascual, Truskowski, O. Gallango, H. Passalacqua, and F. Roure (1995). Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin, in Petroleum Basins of South America. Editores Tankard, Suarez y Welsink. Memorias de la AAPG 62, p. 741-756.
- Patterson, J. and J. Wilson (1953). Oil fields of Mercedes region, Venezuela, AAPG. Boletín 37(12): 2705-2733.
- Mitchum, R. (1977 a). Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. En: Payton, C.E. (Ed.), Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration, vol. 26. A.A.P.G. Memoir, pp. 205–212.
- Mitchum, R. (1977 b). Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 7: Seismic Stratigraphic Interpretation Procedure. En: Payton, C.E. (Ed.), Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration, vol. 26. A.A.P.G. Memoir, pp. 205–212.



- Reina, J. (2002). Interpretación sísmica 3D estructural y estratigráfica del Proyecto Socororo al sur del Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 195 pp.
  
- Schlumberger (1997). Evaluación de pozos (WEC). Capítulo I. Cuencas petrolíferas. Versión Multimedia (CD).
  
- Suárez, Juan C. (2007). Memoria descriptiva del Área Boyacá, Bloques 1-6. de la Faja Petrolífera del Orinoco. PDVSA- INTEVEP.
  
- Talwani, Manik (2002). The Orinoco Heavy Oil Belt in Venezuela (Or Heavy Oil to the rescue). Rice University, 34 pp.

## APÉNDICE

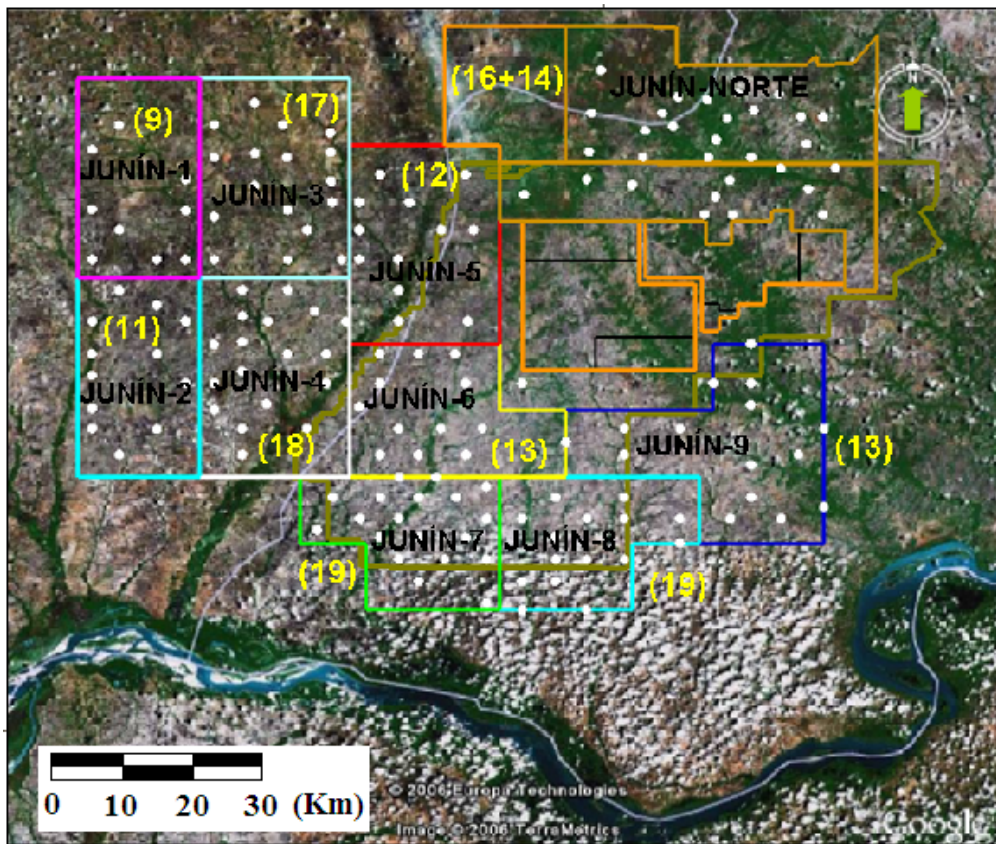


Figura 44. Foto satelital de la ubicación del Bloque Junín 2. Modificado de Google Earth (2006).

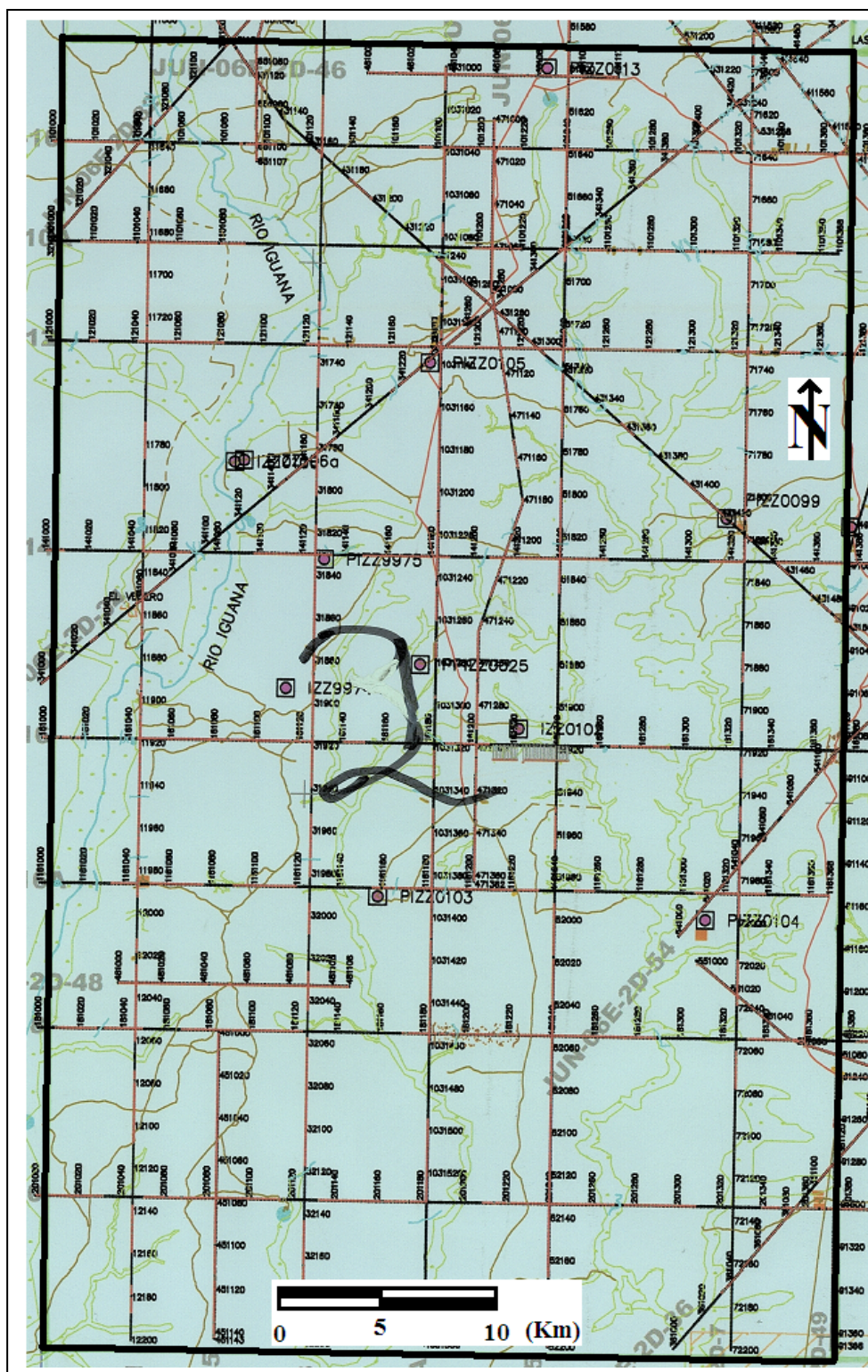


Figura 45. Mapa Toponímico del Bloque Junín 2. Modificado de Memoria Descriptiva de Junín, (2007).

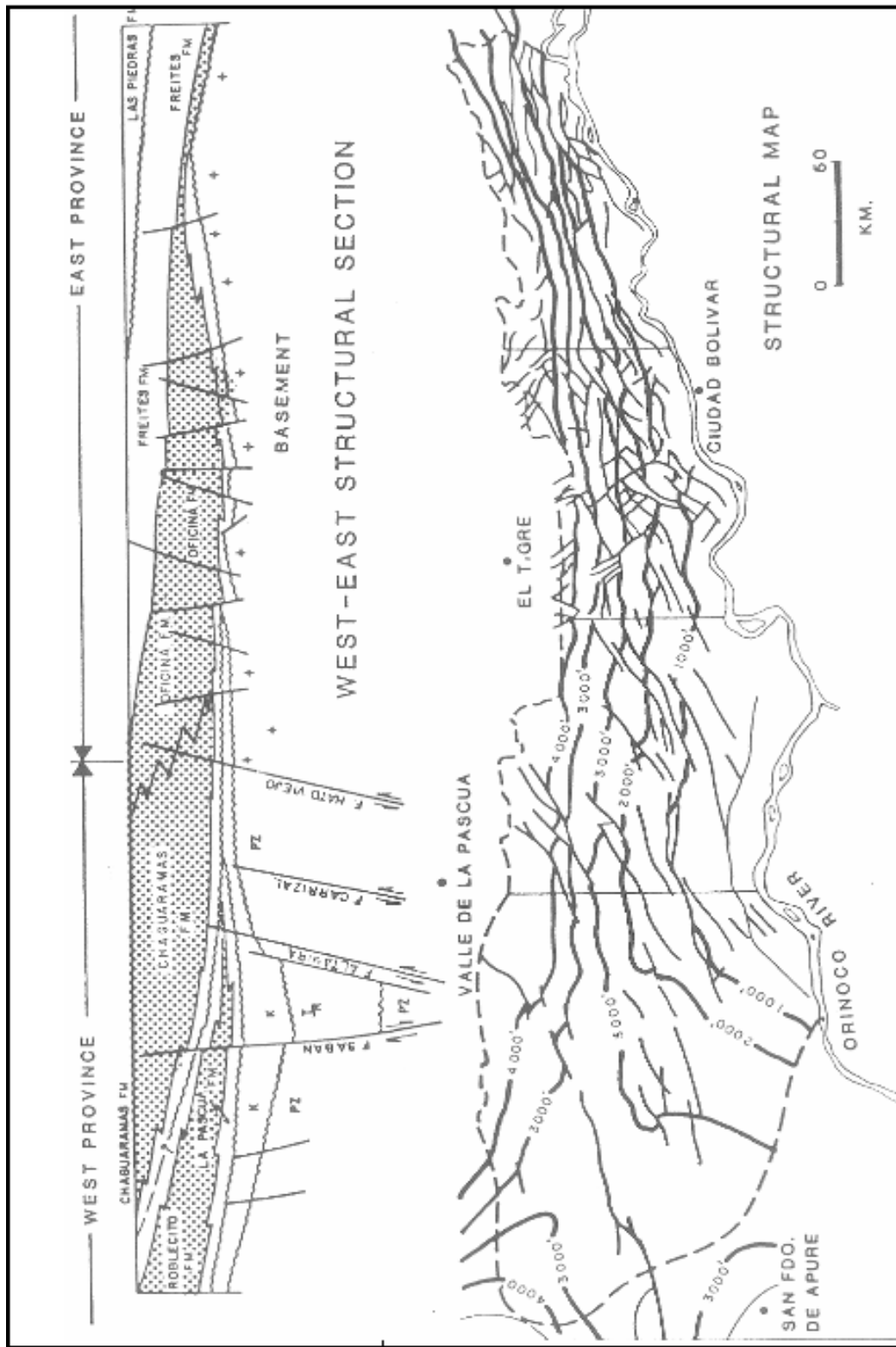


Figura 46. Sección en la subcuenca de Maturín, División en provincias Este y Oeste. Tomado de Talwani, (2002).

Tabla 6. “Mis-ties” aplicados a las líneas sísmicas.

<b>Línea</b>	<b>Mis-tie</b>	<b>Línea</b>	<b>Mis-tie</b>
J-01	-50	J-51	-50
J-03	-50	J-54	-50
J-03A	-50	J-55	-50
J-05	-50	J-65	-50
J-07	-50	ZG-75A-6-1A	-96
J-09	-50	ZG-75A-6-1B	-356
J-10A	-50	ZG-75A-8A	-265
J-10	-50	ZG-75A-R-2	-96
J-12	-50	ZG-75A-RE	-84
J-14	-50	ZG-75A-RW	-84
J-15	-50	ZG-75A-S-2	-270
J-16A	-50	ZG-82C-2A	0
J-16	-50	ZG-82C-2B	-25
J-18	-50	ZG-82C-E-1	-230
J-20	-30	ZG-82C-E-2	-15
J-34	-50	ZG-82C-F	-30
J-36	-50	ZSW-82C-1-1	-48
J-41	-50	ZSW-82C-1-2	-43
J-43	-50	ZSW-82C-3-1	-35
J-45	-45	ZSW-82C-3-2	-40
J-47	-50	ZT-72A-B	-290
J-49	-50	ZT-72A-C	-270

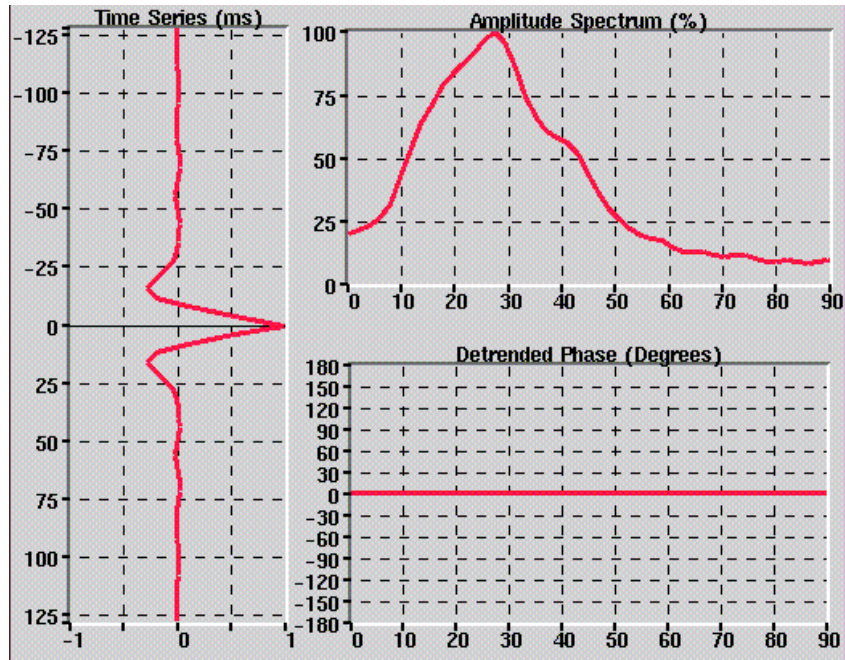


Figura 47. Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 1975.

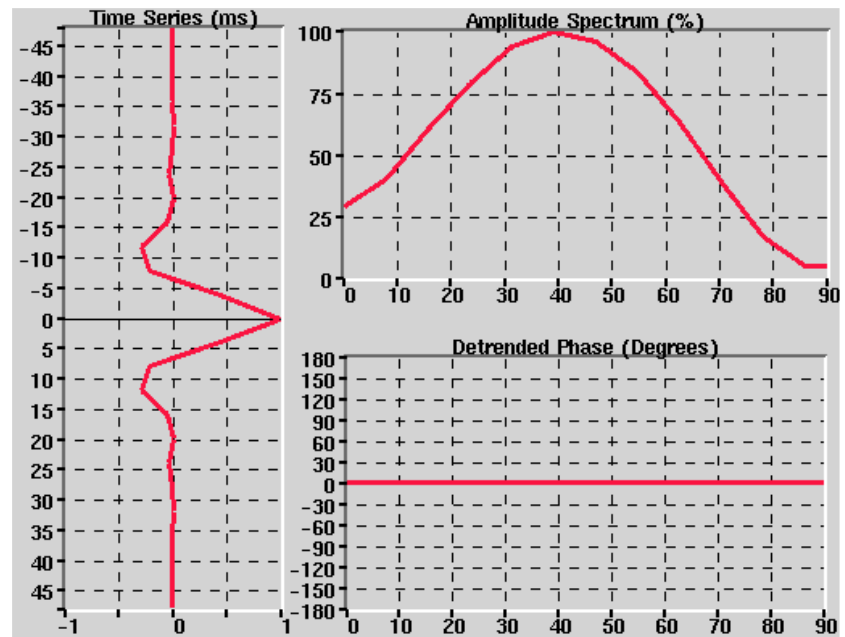
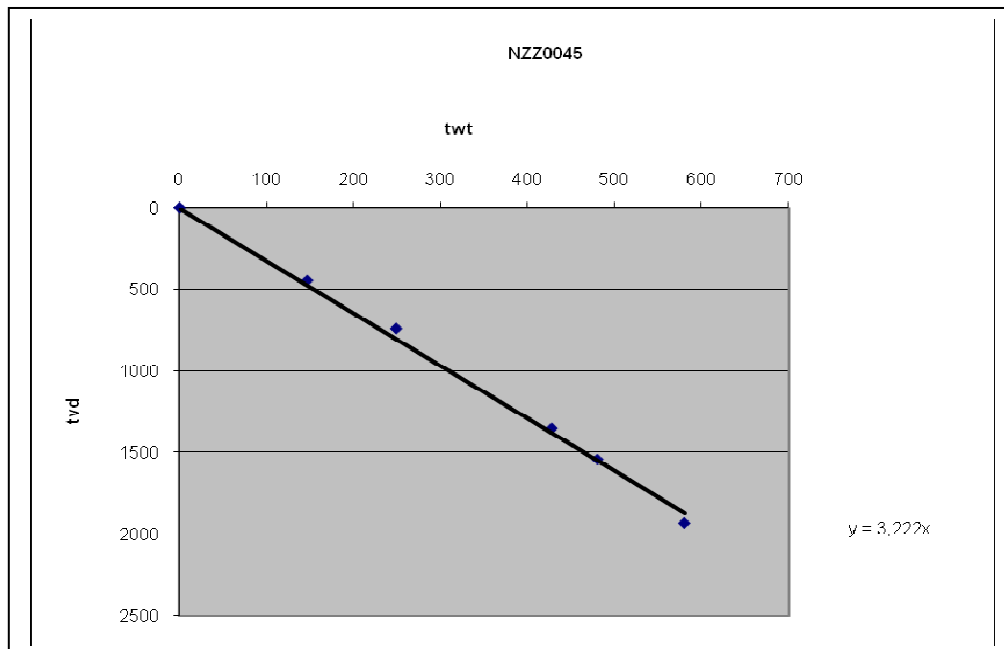
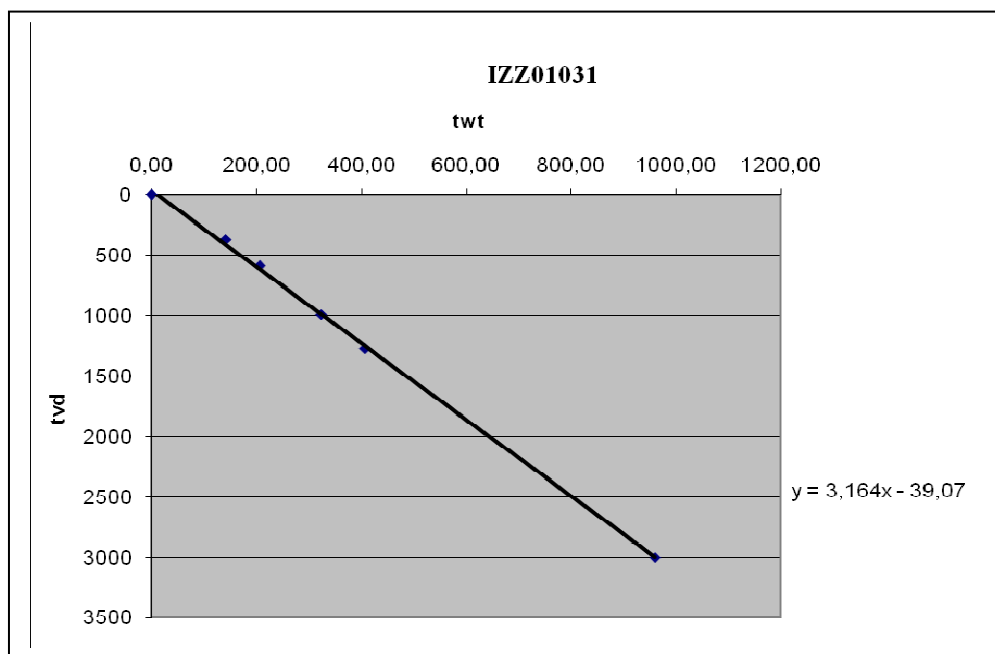


Figura 48. Espectro de amplitud vs. frecuencia de la ondícula extraída de la sísmica, año 1982.



**Gráfico 3. Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo – profundidad, pozo NZZ0045.**



**Gráfico 4. Recta de aproximación de los valores de la curva de tiempo – profundidad, pozo IZZ01031.**



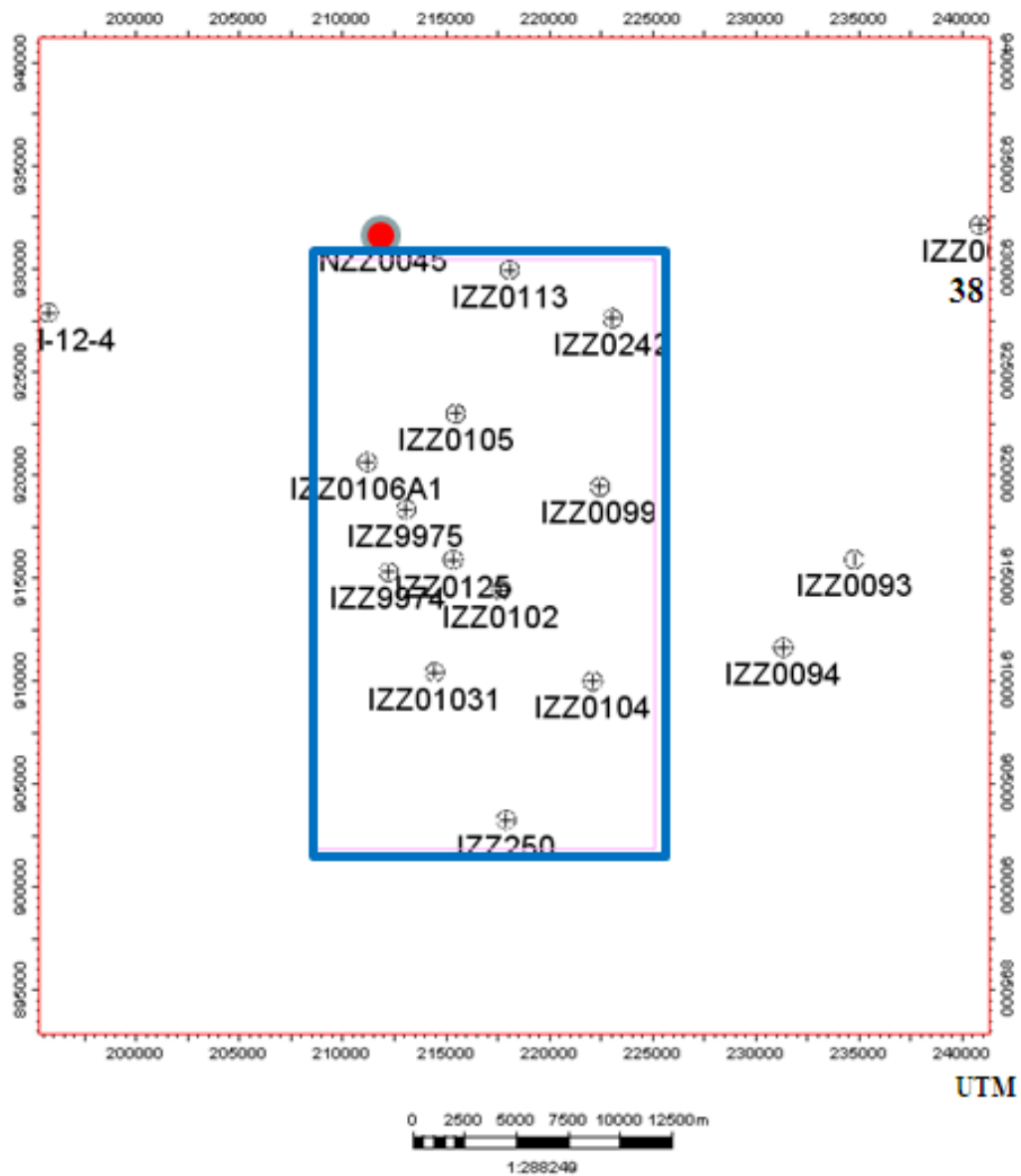


Figura 49. Pozo NZZ0045 con mejor coeficiente de correlación en el sismograma sintético.

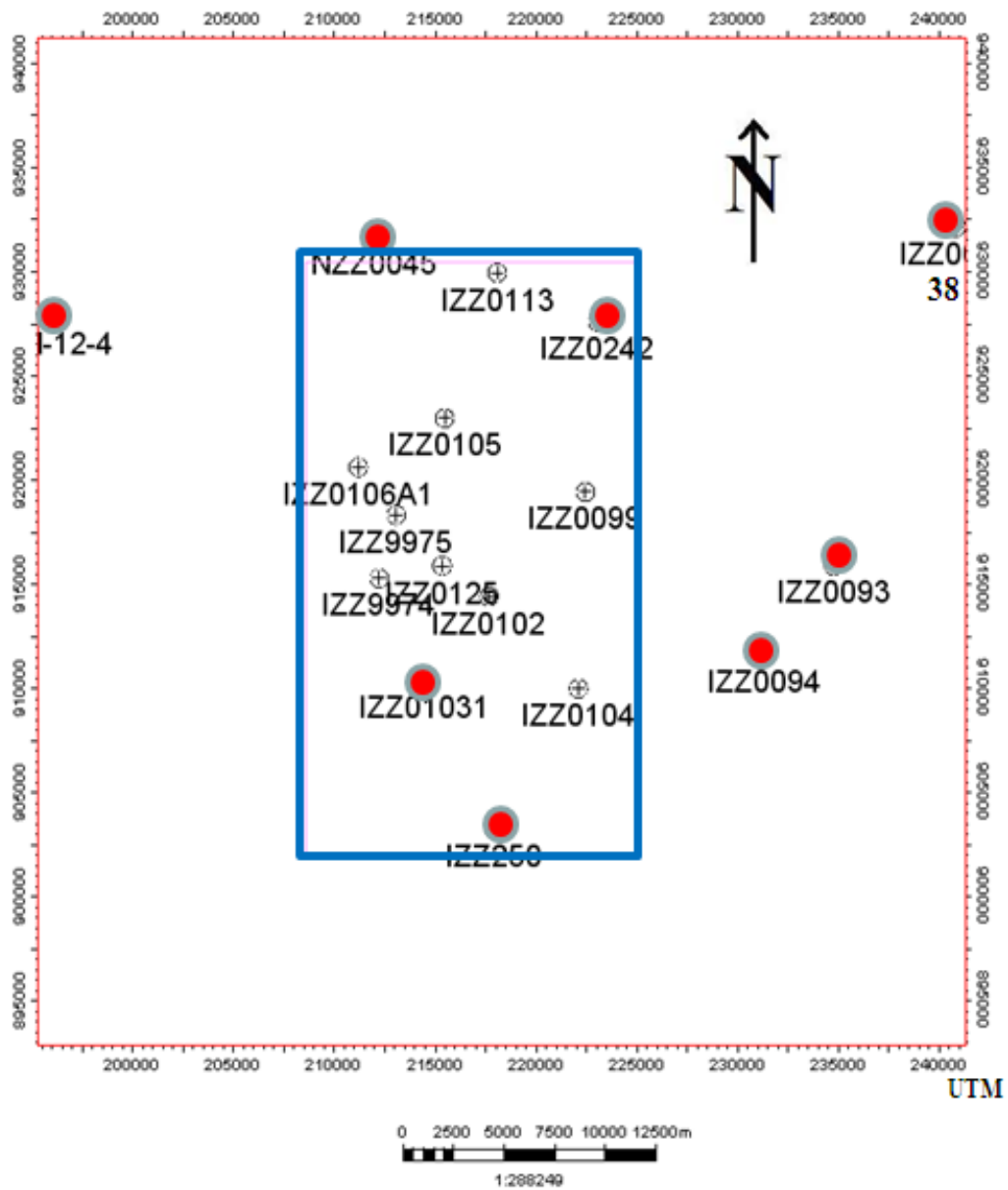


Figura 50. Ubicación de pozos con curva TVS en la zona.

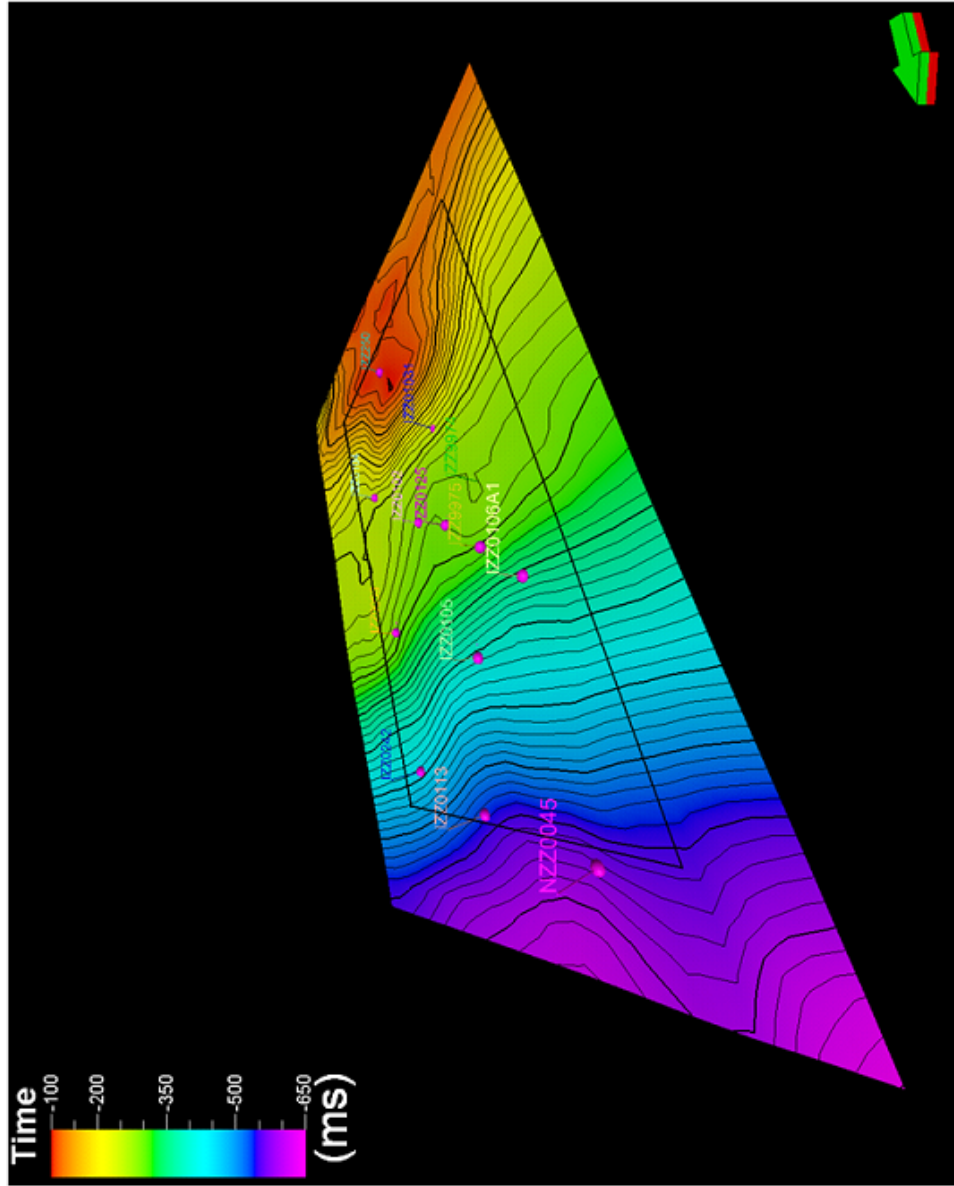


Figura 51. Mapa de la superficie Discordancia del Paleozoico en Tiempo.

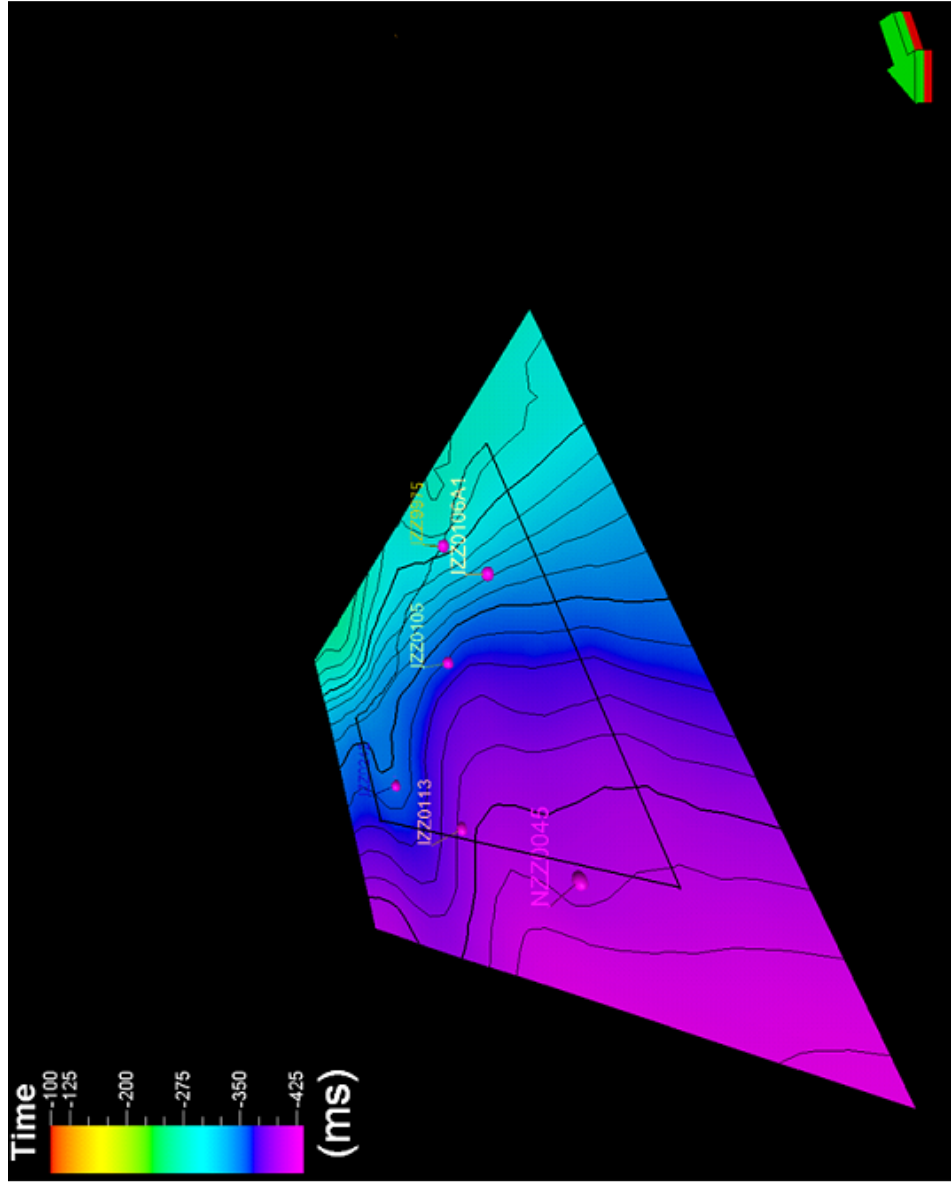


Figura 52. Mapa de la superficie Cretácico en Tiempo.

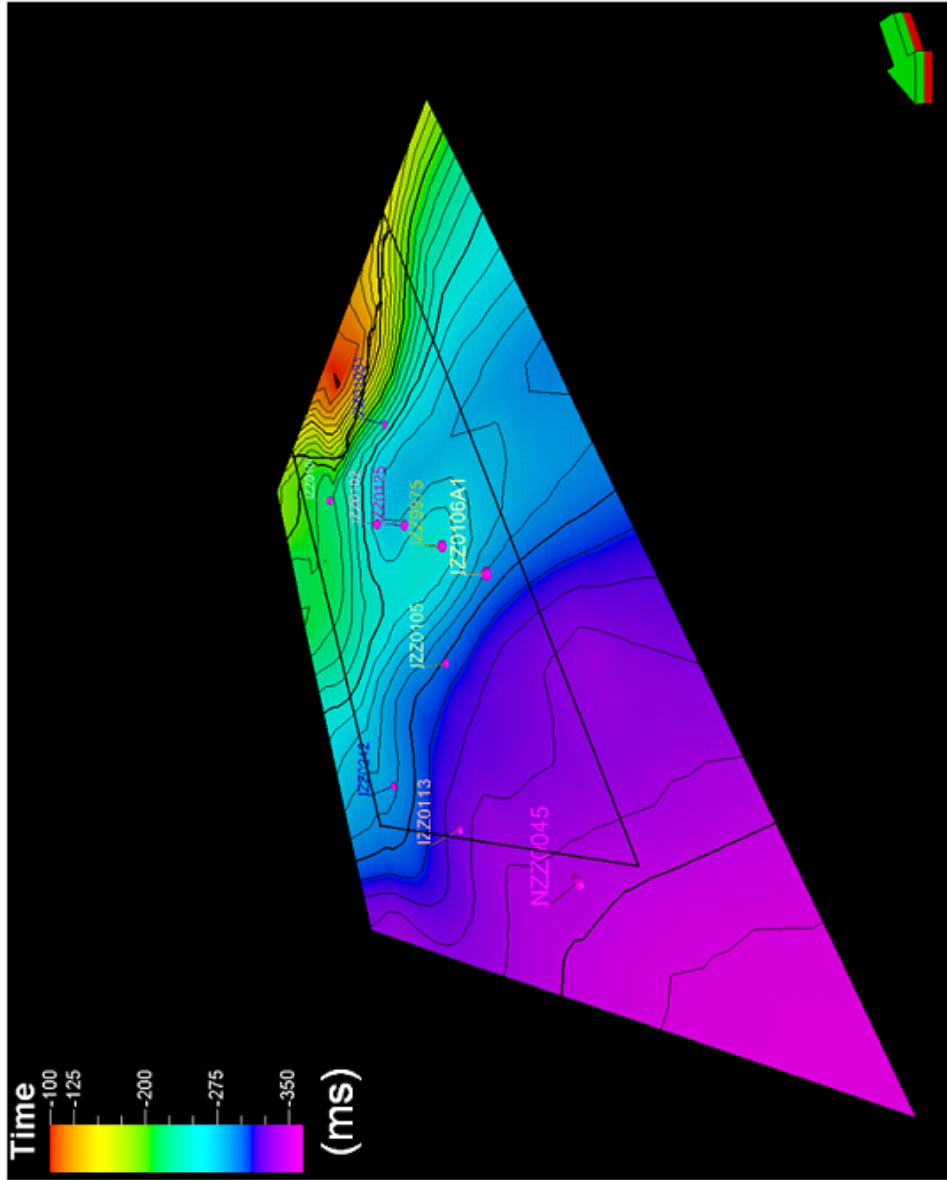


Figura 53. Mapa de la superficie Oligoceno en Tiempo

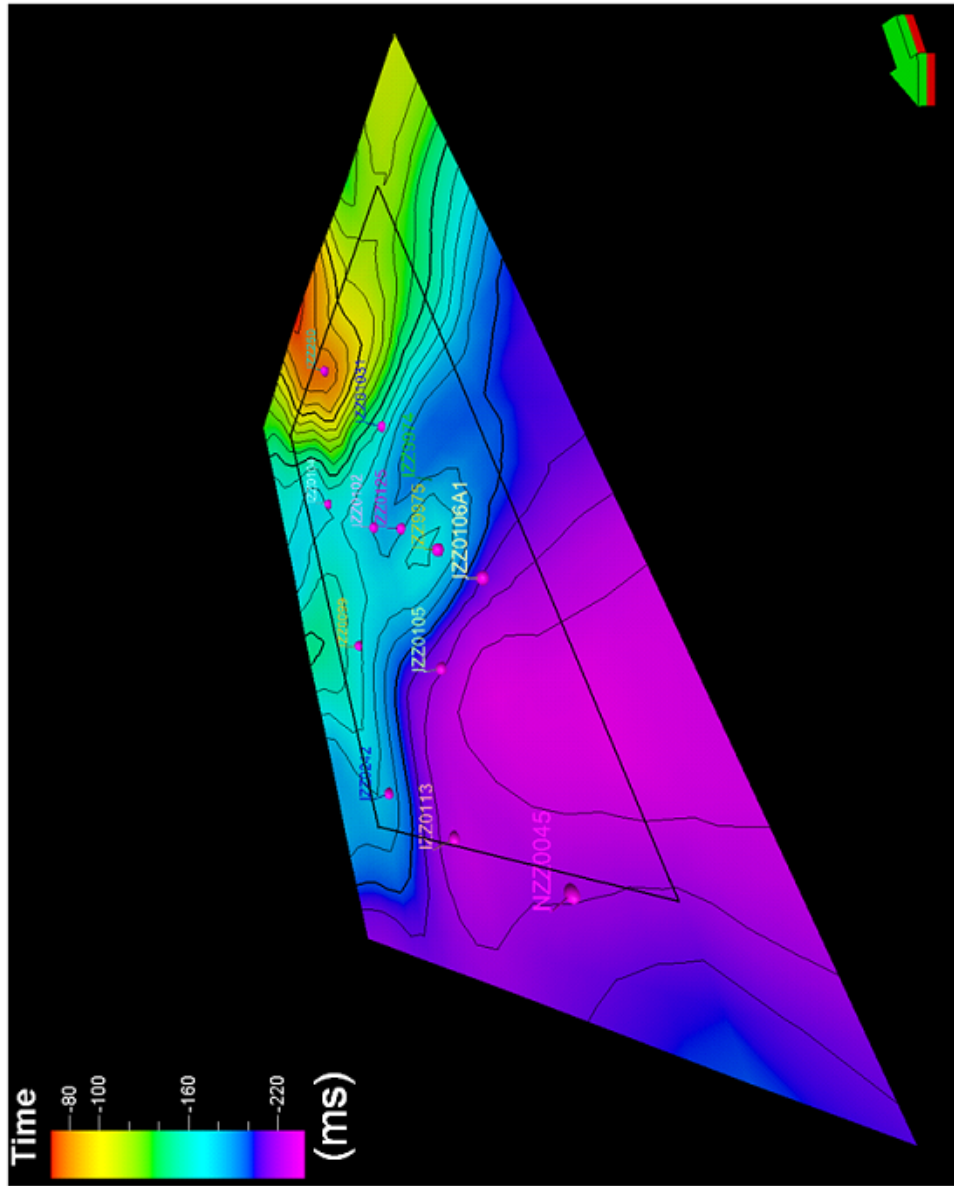


Figura 54. Mapa de la superficie Mioceno Medio en Tiempo.

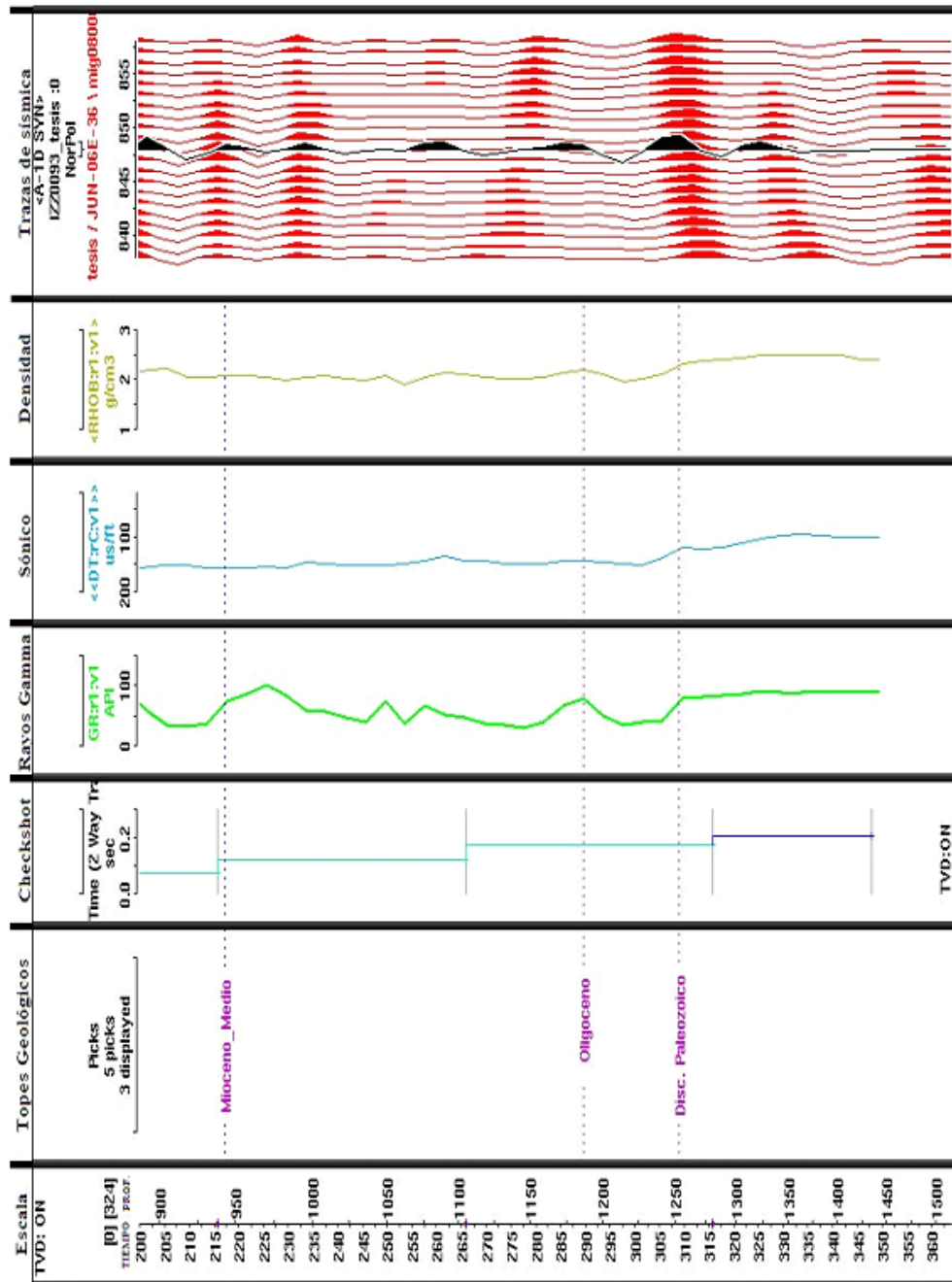


Figura 55. Sismograma sintético del pozo IZZ0093.

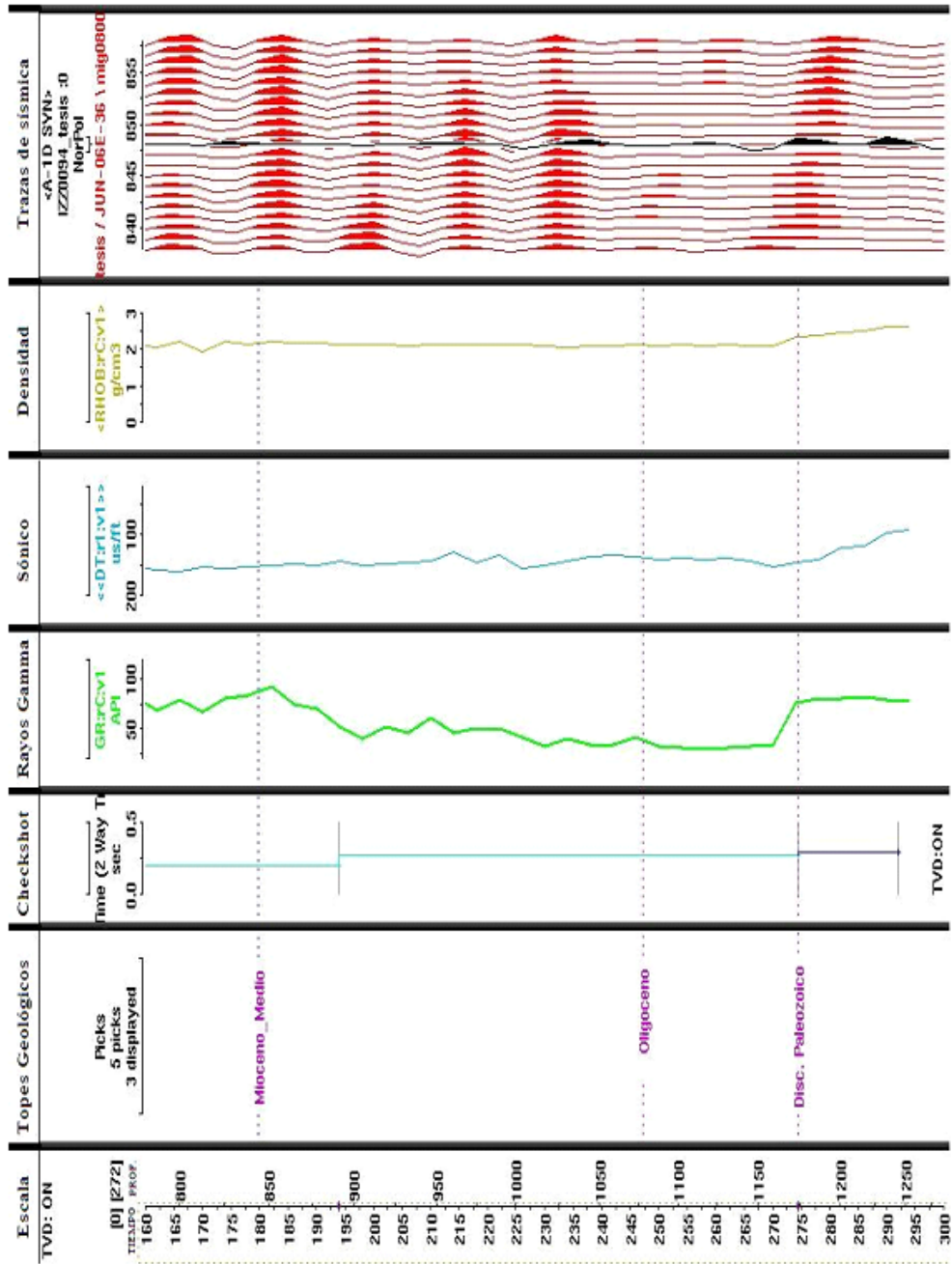


Figura 56. Sismograma sintético del pozo IZ0094.