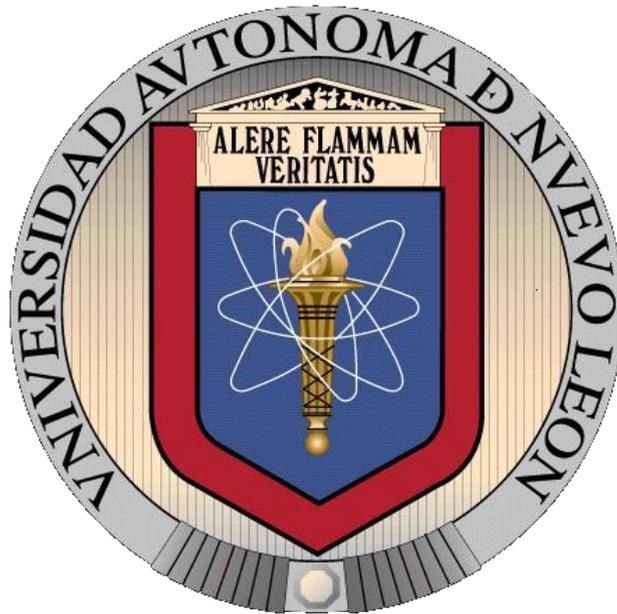


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE SECCIONES SÍSMICAS**  
**AL ORIENTE DE LA SIERRA DE LA SILLA N.L.**

**TESIS**  
**QUE COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OPTAR AL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**PRESENTA**  
**HAMLET JOSUÉ GARCÍA ZAVALA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**LA TESIS**

**PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE SECCIONES SÍSMICAS  
AL ORIENTE DE LA SIERRA DE LA SILLA N.L.**

**ELABORADA POR  
HAMLET JOSUÉ GARCÍA ZAVALA**

**HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**Vo. Bo.  
DIRECTOR DE TITULACIÓN**

---

**Dr. Juan Carlos Montalvo Arrieta**  
**Director de Titulación**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**LA TESIS**

**PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE SECCIONES SÍSMICAS  
AL ORIENTE DE LA SIERRA DE LA SILLA N.L.**

**ELABORADA POR  
HAMLET JOSUÉ GARCÍA ZAVALA**

**HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**Vo. Bo.  
COMITÉ DE TITULACIÓN**

---

**Dr. Juan Carlos Montalvo Arrieta**  
Director de Titulación

---

**Dr. Cosme Pola Simuta**  
Co-Director de Titulación

---

**Dr. Francisco Medina Barrera**  
Co-Director de Titulación

Por este conducto declaro bajo protesta, que este trabajo lo he desarrollado personalmente, con el apoyo del Comité de Titulación. Toda información utilizada de la literatura ha sido citada debidamente. El uso de información confidencial, en este trabajo, es avalado por medio del documento oficial adjunto.

---

Ing. Hamlet Josué García Zavala

Linares, Nuevo León, Junio del 2008

# DEDICATORIA

## *A Dios.*

*Por estar siempre conmigo en las buenas, en las malas cuidándome y cuidando a mis seres queridos por su ayuda, grandeza y por brindarme siempre las herramientas que me han traído hasta este camino y por que siempre cual sea el rumbo que lleve ahí ha ido adelante abriéndome las puertas para lograr mis metas, gracias por los Padres excelentes que elegiste para mi, por mi Pareja e Hijo, gracias a Dios por todo y por permitirme vivir....*

## *A mis Padres: Andrés García Mar y María Leonor Zavala Montes.*

*Por ser las personas que más admiro en la vida por ser mi inspiración para lograr mis metas, por su apoyo incondicional, su amor y paciencia, por guiarme siempre y ser un firme pilar en mi vida, gracias por todas las enseñanzas, por ser unos padres ejemplares y forjarme con sus consejos, gracias por sus oraciones, no hay día que no le de gracias a Dios por darme el privilegio de ser su hijo, gracias simplemente por ser mis Padres, Los Amo Dios los Bendiga hoy y siempre.*

## *A mi Esposa e Hijo: Nora Azucena García Torres y Hamlet Eliam García García.*

*Por su apoyo y amor incondicional por ser en parte por quienes me decidí a iniciar este reto, gracias por los sacrificios que hicimos juntos y por tener paciencia para ayudarme a terminar más rápido este proceso y por ser los dos un firme pilar en mi vida. Los Amo.*

*Gracias Azucena por estar a mi lado y apoyarme no solo ahora si no desde la universidad gracias por ser mi compañera y mejor amiga, por tus consejos, por darme la dicha de ser padre, por todos los sacrificios que hiciste por estar a mi lado, gracias por tus oraciones Dios te Bendiga hoy y siempre.*

*Gracias hijo por tu amor incondicional, por ser quien siempre alegra mis días, por darme fuerzas cuando me sentía sin ellas, por tus ocurrencias y travesuras que siempre nos ponen una sonrisa en la cara, por los sacrificios que tu también has hecho junto a nosotros, por tus oraciones y por el privilegio de ser tu papá, tu llegada es lo mejor que me ha pasado en la vida Dios te Bendiga hoy y siempre.*

## *A mis Abuelos: Damián Zavala, Gloria Montes y María Mar.*

*Muchas gracias abuelitos por ser parte fundamental de mi vida por todo su apoyo y sus consejos, por su amor, por tener parte en mi educación, por ser unas excelentes personas y ser personas que lucharon siempre y sacaron adelante a su familia y sobre todo gracias por darle la vida a mis padres los Quiero Mucho Dios los Bendiga siempre.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi Director de tesis el **Dr. Juan Carlos Montalvo Arrieta**, por su apoyo y consejos a lo largo de este proceso, por su paciencia y dedicación, gracias por orientarme y darle dirección a este proyecto, por sus enseñanzas en clase, en campo y en especial gracias por su amistad. Díos lo Bendiga a usted y a su familia.*

*Al **Dr. Cosme Pola Simuta**, gracias por todo el apoyo y por ser parte de este proyecto, gracias por todos los comentarios acertados que ayudaron a mejorar este trabajo, por sus enseñanzas en clase, por su paciencia y dedicación y por ayudarme a hacer las cosas bien y guiarme en este proceso. Díos lo Bendiga a usted y a su familia.*

*Al **Dr. Francisco Medina Barrera**, gracias por todo el apoyo brindado, por formar parte de este proyecto, por todos los comentarios acertados que ayudaron a que este trabajo fuera mejor, por su disposición y enseñarme cosas nuevas, por aclararme tantas incógnitas que tenía de una manera sencilla y guiarme en este proceso, por sus enseñanzas en campo, por su paciencia y dedicación. Díos lo Bendiga a usted y a su familia.*

*Al **Ing. Jorge Guzmán Juárez** parte medular de este trabajo, muchas gracias inge por su apoyo y ayuda incondicional, gracias por enseñarme a procesar desde cero y tenerme tanta paciencia sin su ayuda este trabajo no sería igual, gracias por su compañía y disposición para quedarnos hasta tarde procesando, por alegrarnos siempre con sus chistes y anécdotas, por su orientación y consejos y sobre todo muchas gracias por su amistad. Díos lo Bendiga a usted y a su familia.*

*Al **M.C. Artemio Alvarado Olmeda (Temo)**, muchas gracias por los consejos y ayudarme a procesar, por todo el apoyo que me brindaste e inclusive por ir hasta en fin de semana para que yo pudiera trabajar, gracias por hacer los días de trabajo menos pesados ya que siempre me hiciste compañía, por ser una excelente persona y por todo lo que te aprendí y aprendimos juntos, gracias por tus oraciones y sobre todo muchas gracias Temo por tu amistad. Díos te Bendiga a ti y a tu familia.*

*Al **Ing. Arturo Pérez Aldana** por todo el apoyo brindado, por sus consejos, gracias por darme esta gran oportunidad y por ser una excelente persona. Díos lo Bendiga a usted y a su familia.*

*Al **Ing. J. Antonio Escalera Alcocer**, por su apoyo y por permitirme hacer uso de toda la información necesaria para este trabajo.*

*Al **Ing. Guillermo Tarango Ontiveros** y al **Ing. Manuel Sosaya Saynes** por todas sus enseñanzas en campo y en clase durante toda la brigada, por ser en parte los que me introdujeron al mundo de las Geociencias, por sus consejos, anécdotas y sobre todo por su amistad Díos los Bendiga a ustedes y a sus familias.*

*Al Dr. Héctor de León Gómez, gracias por sus consejos y todo el apoyo y facilidades brindadas a lo largo de mi estancia en esta facultad.*

*Al Dr. Gabriel Chávez, Dr. Tomas Cossio, M.C. Daniel Garza, Dr. Sostenes Méndez, Dr. Vsevolod Yutsis, gracias por sus enseñanzas tanto en clases como en campo.*

*Al M.C. Adalberto Treviño Cazares gracias por sus consejos, por todas las facilidades y el apoyo brindado.*

*Al Dr. Juan Alonso Ramírez, Dr. Fernando Velasco, Dr. José Guadalupe López, Dr. Rosbel Chapa, Profra. Manuelita González y al M.C. Efraín Alva, gracias por todo el apoyo y consejos brindados.*

*A Gilberto Martínez Castañeda, gracias compadre por todas esas platicadotas que nos hechamos, por todos tus consejos, por tu ayuda en cosas de la tesis y sobre todo por tenerte como amigo y ser mi compañero de parrandas gracias.*

*A Karla Moctezuma Navarro, gracias por todos tus consejos y por hacer que mi estancia en Linares fuera mejor, por ser una excelente persona y sobre todo gracias por tu amistad.*

*A Ana Guadalupe Priego Vázquez, Anita tu y yo ya éramos amigos desde Villahermosa pero aquí reafirmamos esa amistad, gracias por tus buenos consejos y por el compañerismo que siempre a existido, por tu amistad y por tu apoyo gracias.*

*A Ulises Vargas Martínez, por ser uno de los pocos amigos que tengo desde la infancia, por tus consejos y acompañarme siempre hasta en los accidentes y ser un buen amigo gracias Compich.*

*A Fernando Álvarez San Román, por todos tus consejos, por las buenas pláticas que teníamos, por tus oraciones y amistad.*

*A Otilio Hernández Sánchez, por ser un buen amigo y compañero de trabajo, por las retas que ser armaban y por tu amistad.*

*A Yamzul Ernesto Ocampo Díaz, por todos sus consejos, por despejarme varias dudas y sobre todo por brindarme su amistad.*

*A mis compañeros y amigos Sandra (Chona), Larissa, Bath-Sheba, Juan Carlos (Biólogo), Abelaid, Francisco Ángeles, Jorge Velasco, Samir, Victor Infante, Jon, Janeth, Israel.*

*A Yarid y Edgar Serna por ser los hermanos que nunca tuve, a Gabriel Andrade y Luis Carlos Patiño por todos los fines de relax en Monterrey.*

*Al Ing. Manuel Maldonado, Ing. Rubén Rocha e Ing. Efrén Murillo, por todo el apoyo y sugerencias brindadas.*

*Al Ing. Julio Pérez Aldana, por permitirme interpretar con el grupo de caracterización y al mismo grupo de caracterización del Activo Regional de Exploración Región Norte de Poza Rica Ver., por tratarme como uno mas de ellos y hacer mi estancia ahí fuera muy agradable gracias Carmen, Guillermo, Santiago, Rocío y Emery.*

*A toda la gente de PEP en Reynosa Tamps., por proporcionarme toda la información necesaria para elaborar este trabajo y por toda su ayuda.*

*A Juany Montes, Bety, Sra. Aracely y todo el personal administrativo gracias por su apoyo.*

*A todos mis tíos y tías y demás seres queridos que por falta de concentración no aparecen en este documento, pero que sin lugar a dudas saben que aquí deben estar.*

*Gracias.... Totales.....*

## Índice

Índice de Figuras .....	IV
Índice de Tablas.....	XI
Resumen .....	XII
Abstract.....	XIII

### Capítulo I

1.- Introducción .....	1
1.1.- Hipótesis.....	2
1.2.- Objetivos .....	2
1.2.1.- <i>Objetivos Particulares</i> .....	2
1.3.- Metas .....	2
1.4.- Localización .....	3
1.5.- Características del área.....	5
1.5.1.- <i>Localización del levantamiento Sísmico BLN</i> .....	5
1.6.- Límites y referencias .....	6
1.7.- Objetivo del levantamiento .....	6
1.8.- Antecedentes Geofísicos .....	7

### Capítulo II

2.- Marco Geológico Regional .....	10
2.1.- Paleogeografía y Estratigrafía .....	11
2.1.1.- <i>Permo-Triásico</i> .....	11
2.1.2.- <i>Triásico Superior</i> .....	12
2.1.3.- <i>Jurásico Inferior</i> .....	12
2.1.4.- <i>Jurásico Medio</i> .....	12
2.1.5.- <i>Jurásico Superior</i> .....	13
2.1.6.- <i>Cretácico Inferior</i> .....	13
2.1.7.- <i>Cretácico Medio</i> .....	14
2.1.8.- <i>Cretácico Superior</i> .....	15
2.2.- Litología del área de estudio. ....	17
2.3.- Tectónica .....	25
2.4.- La Cuenca De Burgos .....	26

### Capítulo III

3.- Método Sísmico .....	30
3.1.- El dato sísmico .....	32
3.2.- Modelo de traza sísmica.....	33
3.2.1.- <i>Ondas planas e incidencia.</i> .....	34
3.2.2.- <i>Convolución</i> .....	36
3.3.- Principios de elasticidad.....	37
3.4.- Tipos de Ondas Sísmicas.....	40
3.5.- Ley de Snell, principios de Huyghens y Fermat .....	43
3.5.1.- <i>La Ley de Snell</i> .....	43
3.5.2.- <i>El Principio de Huyghens</i> .....	44

3.5.3.- <i>El Principio de Fermat</i> .....	45
3.6.- Velocidad de ondas en el suelo y rocas.....	47
3.7.- Sismodetectores (geófonos e hidrófonos).....	48
3.8.- Principios del método de refracción sísmica.....	49
3.9.- Principios del método de reflexión sísmica. ....	51

## Capítulo IV

4.- Procesado de Datos .....	53
4.1.- Centro de Procesado Sismológico (CPS).....	55
4.2.- La sección sísmica.....	60
4.3.- Objetivos del tratamiento de datos .....	60
4.3.1.- <i>Mejora de la relación señal/ruido</i> .....	61
4.3.2.- <i>Presición del tiempo de reflexión y de posición</i> .....	62
4.3.3.- <i>La más alta resolución posible</i> . ....	62
4.3.4.- <i>Extracción de otras propiedades de subsuelo</i> .....	63
4.4.- Arreglos geométricos .....	66
4.5.- Corrección por divergencia esférica.....	68
4.6.- Atenuación de Ruidos .....	69
4.7.- Deconvolución .....	72
4.8.- Correcciones estáticas .....	74
4.9.- Correcciones Dinámicas Normal Moveout (NMO).....	75
4.10.- Correcciones Estáticas Residuales .....	78
4.11.- Apilamiento.....	79
4.11.1.- <i>Apilamiento vertical</i> .....	81
4.11.2.- <i>Apilamiento CDP (Punto de Reflejo Común)</i> .....	82
4.11.3.- <i>Multipliación</i> .....	83
4.12.- Migración .....	83
4.13.- Resultados del procesado .....	88

## Capítulo V

5.- Interpretación .....	93
5.1.- Objetivo del levantamiento .....	95
5.2.- Descripción de pozos en el área .....	96
5.2.1.- <i>Pozo Benemérito-1</i> .....	97
5.2.2.- <i>Pozo Carbajal-1</i> .....	106
5.2.3.- <i>Pozo Carruaje-1</i> .....	116
5.2.4.- <i>Pozo Cerralvo-1A</i> .....	119
5.2.5.- <i>Pozo Fresnito-1</i> .....	121
5.2.6.- <i>Pozo Herreras-1, 2 y 101</i> .....	124
5.2.7.- <i>Pozo Margarita-1</i> .....	127
5.2.8.- <i>Pesquerías 1 y 2</i> .....	129
5.2.9.- <i>Pozo Ramones-1</i> .....	133
5.2.10.- <i>Pozo Refinería-1</i> .....	137
5.2.11.- <i>Pozo Vapor-1</i> .....	139
5.3.- Configuración en Tiempo .....	142
5.4.- Espesores y Descripción de Secciones Sísmicas.....	168
5.5.- Modelos de Velocidades .....	203
5.6.- Datos Superficiales.....	215

**Capítulo VI**

6.- Conclusiones y Recomendaciones .....	217
6.1.- Conclusiones .....	217
6.2.- Recomendaciones.....	220
Bibliografía.....	222

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
Fig. 1.1.	Localización del área de estudio (Tomada de Google Earth).	3
Fig. 1.2.	Área de Estudio (Tomado de Google Earth).	4
Fig. 1.3.	Ubicación de las líneas sísmicas (Proporcionado por PEP).	5
Fig. 1.4.	Ubicación del levantamiento Sísmico Benemérito-Linares Norte (Proporcionado por PEP).	6
Fig. 1.5.	Mapa geológico del área y líneas sísmicas del proyecto (Proporcionado por PEP).	9
Fig. 2.1.	Curvatura de Monterrey y al este el área de estudio.	10
Fig. 2.2.	Tabla estratigráfica de la Curvatura de Monterrey (Modificado de Michalzik, 1988).	16
Fig. 2.3.	Cuencas Petroleras de México (Editado de PEP).	26
Fig. 2.4.	Etapas de la Apertura del Golfo de México (Tomado de Goldhammer, 1999).	29
Fig. 3.1.	Método Sísmico de Reflexión (Tomado de PDVSA).	30
Fig. 3.2.	La figura ilustra el comportamiento de la reflexión y de la refracción.	31
Fig. 3.3.	Geófono usado para adquisición sísmica.	32
Fig. 3.4.	Ondas Primarias “P” (A) y Secundarias “S” (B).	33
Fig. 3.5.	Incidencia y Reflexión.	34
Fig. 3.6.	Convolución.	35
Fig. 3.7.	(a) Identificación de un reflector sísmico en tiempo. (b) Identificación del mismo reflector en profundidad como un horizonte el cual puede interpretarse y/o correlacionarse litológicamente.	36

---

Fig. 3.8.	Relación: Esfuerzo-Deformación-Tiempo. (A) Esfuerzo vs Deformación; (B) Deformación vs Tiempo (Modificado de Sheriff y Geldart, 1995).	40
Fig. 3.9.	Ondas Superficiales (A) Rayleigh; (B) Love (Tomado de Internet).	42
Fig. 3.10.	Principio de Huyghens (Frentes de Onda).	44
Fig. 4.1.	El procesado de datos consta de varias etapas, en la figura se observan algunas de ellas.	53
Fig. 4.2.	Intersección de un conjunto de líneas procesadas.	54
Fig. 4.3.	Centro de Procesado Sísmico de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U.A.N.L.	54
Fig. 4.4.	Servidor SGI Altix 330 y Cluster AMD Opteron.	55
Fig. 4.5.	Estación de Trabajo del CPS.	56
Fig. 4.6.	Cluster AMD Opteron.	56
Fig. 4.7.	Vista de algunos módulos utilizados para el procesado de datos sísmicos del paquete de procesado SeisUp (Tomado del centro de procesado de la FCT).	58
Fig. 4.8.	Diagrama Esquemático que muestra el Flujo para Procesado de Datos 2D.	59
Fig. 4.9.	Línea Sísmica del Área Benemérito Linares Norte.	60
Fig. 4.10.	Tipos de ruido sísmico.	61
Fig. 4.11.	Esquema de Adquisición Sísmica.	62
Fig. 4.12.	Periodo de las Ondículas.	63
Fig. 4.13.	Secuencia de Proceso utilizada en este trabajo.	65
Fig. 4.14.	Vista del QcView, modulo para checar la geometría en SeisUp.	66
Fig. 4.15.	Control de calidad de la geometría por tiros.	67
Fig. 4.16.	Tiros sin y con Divergencia Esférica.	68
Fig. 4.17.	Apilado en bruto y Apilado con divergencia esférica y edición de algunos ruidos.	69

---

Fig. 4.18.	Izquierda tiro con ruido y a la derecha con atenuación de ruidos.	70
Fig. 4.19.	Tiros con ruido sísmico.	71
Fig. 4.20.	Izquierda gathers sin deconvolución, derecha gathers con deconvolución.	72
Fig. 4.21.	Sección sísmica apilada sin y con el modulo de deconvolución aplicado (abajo).	73
Fig. 4.22.	Izquierda gathers sin estáticas de elevación, derecha con estáticas de elevación.	74
Fig. 4.23.	Forma gráfica de SeisUp para el picado de velocidades.	75
Fig. 4.24.	Izquierda gathers antes y derecha después de la corrección Dinámica NMO.	76
Fig. 4.25.	Secciones sísmicas antes y después de la corrección NMO.	77
Fig. 4.26.	Sección sin estáticas residuales (arriba) y con estáticas residuales (abajo).	78
Fig. 4.27.	Sección sísmica apilada en bruto y apilado final.	79
Fig. 4.28.	Apilado de datos.	80
Fig. 4.29.	Arreglo de punto de tiro común.	81
Fig. 4.30.	Arreglo de punto medio común.	82
Fig. 4.31.	Sección Migrada del proyecto Benemérito-Linares Norte.	83
Fig. 4.32.	Sección Migrada Pre-Apilamiento en Tiempo del proyecto Benemérito-Linares Norte.	84
Fig. 4.33.	Sección Migrada por el método de Stolt.	86
Fig. 4.34.	Sección Migrada por el método Omega-X.	87
Fig. 4.35.	Sección Migrada por el método de Kirchhoff.	88
Fig. 4.36.	Sección sísmica 158 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).	89

---

Fig. 4.37.	Sección sísmica 158 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).	90
Fig. 4.38.	Sección sísmica 178 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).	91
Fig. 4.39.	Sección sísmica 172 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).	92
Fig. 5.1.	Área de Estudio Benemérito-Linares Norte (Tomado de PEP).	94
Fig. 5.2.	Altimetría del Área de Estudio (Modificado de PEP).	95
Fig. 5.3.	Pozo Benemerito1 sobre la línea 097.	97
Fig. 5.4.	Esquema del comportamiento de espesores entre los pozos Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras 101.	99
Fig. 5.5.	Columna estratigráfica del pozo Benemérito-1.	102
Fig. 5.6.	Ubicación del pozo Carbajal-1 sobre la sísmica.	114
Fig. 5.7.	Columna estratigráfica del pozo Carbajal-1.	115
Fig. 5.8.	Columna estratigráfica del pozo Carruaje-1.	117
Fig. 5.9.	Ubicación del pozo Carruaje-1 sobre la sísmica.	118
Fig. 5.10.	Columna estratigráfica del pozo Cerralvo-1A.	120
Fig. 5.11.	Ubicación del pozo Cerralvo-1A sobre la sísmica.	121
Fig. 5.12.	Columna estratigráfica del pozo Fresnito-1.	122
Fig. 5.13.	Ubicación del pozo Fresnito-1 sobre la sísmica.	124
Fig. 5.14.	Columna estratigráfica del pozo Herreras-1.	126
Fig. 5.15.	Ubicación de los pozos Herreras sobre la sísmica.	127
Fig. 5.16.	Columna estratigráfica del pozo Margarita-1.	128
Fig. 5.17.	Ubicación del pozo Margarita-1 sobre la sísmica.	129
Fig. 5.18.	Ubicación de los pozos pesquerías sobre la sísmica.	130
Fig. 5.19.	Columna estratigráfica del pozo Pesquerías-1.	132
Fig. 5.20.	Ubicación del pozo Ramones-1 sobre la sísmica.	135

---

Fig. 5.21.	Columna estratigráfica del pozo Ramones-1.	136
Fig. 5.22.	Columna estratigráfica del pozo Refinería-1.	138
Fig. 5.23.	Ubicación del pozo Refinería-1 sobre la sísmica.	139
Fig. 5.24.	Columna estratigráfica del pozo Vapor-1.	140
Fig. 5.25.	Ubicación del pozo Vapor-1 sobre la sísmica.	141
Fig. 5.26.	Configuración en Tiempo de la Fm. Olvido en 3D.	143
Fig. 5.27.	Configuración en Tiempo de la Fm. Olvido y líneas sísmicas.	144
Fig. 5.28.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Olvido del Jurásico Superior.	146
Fig. 5.29.	Configuración en Tiempo de la Fm. La Casita en 3D.	147
Fig. 5.30.	Configuración en tiempo de la Fm. La Casita y líneas sísmicas.	148
Fig. 5.31.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación La Casita del Jurásico Superior.	149
Fig. 5.32.	Configuración en tiempo de la Fm. Taraises en 3D.	150
Fig. 5.33.	Configuración en tiempo de la Fm. Taraises y líneas sísmicas.	151
Fig. 5.34.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Taraises del Cretácico Inferior.	152
Fig. 5.35.	Configuración en Tiempo de la Formación Cupido en 3D.	153
Fig. 5.36.	Configuración en Tiempo de la Formación Cupido y líneas sísmicas.	154
Fig. 5.37.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Cupido del Cretácico Inferior.	155
Fig. 5.38.	Configuración en Tiempo de la Formación La Peña en 3D.	156
Fig. 5.39.	Configuración en Tiempo de la Formación La Peña y líneas sísmicas.	157

---

Fig. 5.40.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación La Peña del Cretácico Inferior.	158
Fig. 5.41.	Configuración en Tiempo de la Formación Aurora en 3D.	159
Fig. 5.42.	Configuración en Tiempo de la Formación Aurora y líneas sísmicas.	160
Fig. 5.43.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Aurora del Cretácico Inferior.	161
Fig. 5.44.	Configuración en Tiempo de la Formación Cuesta del Cura en 3D.	162
Fig. 5.45.	Configuración en Tiempo de la Formación Cuesta del Cura y líneas sísmicas.	163
Fig. 5.46.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Cuesta del Cura del Cretácico Superior.	164
Fig. 5.47.	Configuración en Tiempo de la Formación Agua Nueva en 3D.	165
Fig. 5.48.	Configuración en Tiempo de la Formación Agua Nueva y líneas sísmicas.	166
Fig. 5.49.	Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior.	167
Fig. 5.50.	Líneas a describir en rojo y en azul y paleta de colores para horizontes y paquetes.	169
Fig. 5.51.	Línea 172 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.	170
Fig. 5.52.	Línea 172 con orientación WSW-ENE.	172
Fig. 5.53.	Línea 097 y modelo de espesores, con orientación SSE-NNW.	173
Fig. 5.54.	Línea 097 con orientación SSE-NNW.	175
Fig. 5.55.	Línea 158 con orientación WSW-ENE.	178
Fig. 5.56.	Línea 178 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.	179
Fig. 5.57.	Línea 178 con orientación WSW-ENE.	183

---

Fig. 5.58.	Línea 154 con orientación WSW-ENE.	185
Fig. 5.59.	Línea 152 con orientación WSW-ENE.	188
Fig. 5.60.	Línea 150 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.	189
Fig. 5.61.	Línea 150 con orientación WSW-ENE.	192
Fig. 5.62.	Línea 148 con orientación WSW-ENE.	194
Fig. 5.63.	Línea 085 y modelo de espesores, con orientación SSE-NNW.	195
Fig. 5.64.	Línea 085 y modelo de espesores, con orientación SSE-NNW.	197
Fig. 5.65.	Línea 156 con orientación WSW-ENE.	200
Fig. 5.66.	Línea 170 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.	201
Fig. 5.67.	Mapa del área de estudio, en rojo líneas usadas para elaborar los modelos de velocidades.	203
Fig. 5.68.	Línea 172 con modelo de velocidades.	204
Fig. 5.69.	Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 1).	205
Fig. 5.70.	Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 2).	206
Fig. 5.71.	Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 3).	207
Fig. 5.72.	Línea 158 con modelo de velocidades (parte 1).	208
Fig. 5.73.	Línea 158 con modelo de velocidades (parte 2).	209
Fig. 5.74.	Línea 178 con modelo de velocidades (parte 1).	210
Fig. 5.75.	Línea 178 con modelo de velocidades (parte 2).	211
Fig. 5.76.	Línea 178 con modelo de velocidades (parte 3).	212
Fig. 5.77.	Línea 156 con modelo de velocidades (parte 1).	213
Fig. 5.78.	Línea 156 con modelo de velocidades (parte 2).	214
Fig. 5.79.	Análisis de fracturas en las formaciones Cuesta del Cura y La Peña (Sierra de Papagayos).	216

## **Índice de Tablas**

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Tabla 5.1. Pozos dentro del área de estudio.	96
Tabla 5.2. Formaciones y espesores entre los pozos Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras- 101.	98

## **Resumen**

En este trabajo se presentan los resultados del procesado y la interpretación de un conjunto de secciones sísmicas ubicadas al oriente de la Sierra de la Silla, Nuevo León, México. Estas secciones sísmicas fueron correlacionadas con datos de pozos, en donde se identificaron los siguientes paquetes: basamento constituido por rocas graníticas, sobreyaciendo se observó la siguiente secuencia sedimentaria Triásico (Lechos rojos), Jurásico Superior, Cretácico Inferior, Cretácico Superior y una pequeña porción del Terciario. En el área de estudio se encontró evidencia clara de la influencia Laramidica así como de la apertura del Golfo de México. El sentido de la deformación en el área de estudio es en dirección SW-NE. El estilo estructural muestra tres áreas: zona con poca deformación localizada entre la Sierra de la Silla y la Sierra de Papagayos, zona deformada (Sierra de Papagayos) y zona de profundización en el límite de la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Burgos. El basamento se profundiza hacia la Planicie Costera del Golfo y la presencia de sedimentos terciarios aparece en esta misma dirección. También se obtuvieron modelos de velocidades de intervalo para las secciones sísmicas procesadas en la Facultad de Ciencias de la Tierra (FCT), modelos de espesores en los flancos y centro del área y configuraciones en tiempo de todo el proyecto Benemérito-Linares Norte de las formaciones comprendidas entre Fm. Olvido del Jurasico Superior y la Fm. Agua Nueva del Cretácico Superior.

## **Abstract**

This work presents the result of the processing and interpretation of a set of 2D seismic sections from the East of the Sierra de la Silla, Nuevo León, Mexico. The following packages were identified from the correlation of the seismic sections with well data: a granitic basement and overlaying sedimentary sequence in which we found packages from Triassic (red beds), Upper Jurassic, Lower Cretaceous, Upper Cretaceous and a small portion of Tertiary. In the study area we found clear evidence of Laramidic influence as well as of the opening of the Gulf of Mexico. The sense of the deformation in the area is SW-NE direction. Three structural styles were found: a) zone with little deformation located between La Sierra de la Silla and La Sierra de Papagayos; b) deformed zone (Sierra de Papagayos); c) a deepening zone of the Mesozoic sequence at the limit of la Sierra Madre Oriental and the Burgos basin. The basement is deepened towards the Gulf Coastal Plain and Tertiary sediments appear in this same direction. Also, a models of interval velocities was obtained for the seismic sections processing in the FCT, thicknesses models in flanks and center of the area, as well as time configurations of all Benemerito-Linares North project of the formations between Fm. Olvido of the Upper Jurassic and Fm. Agua Nueva of the Upper Cretaceous.

## **1.- Introducción**

En el Noreste de México el marco geológico y tectónico se encuentra documentado en términos generales a partir de una gran cantidad de estudios geológicos superficiales, que nos brindan muy valiosa información acerca de los procesos que acontecieron hace millones de años, los cuales son los causantes de los rasgos morfológicos y estructurales que podemos observar en la actualidad. A pesar de esto, la estructura cortical permanece relativamente desconocida debido a la ausencia de información publicada de perforaciones y/o estudios geofísicos.

Conocer la geometría del subsuelo así como sus características geológicas (estratos, pliegues, fallas, etc.) es muy importante para explicar la evolución tectónica de la región con fines económicos y de investigación.

En este trabajo se presentan resultados del reproceso de cinco líneas sísmicas 2D así como de la interpretación de las mismas y algunas líneas adicionales utilizadas para realizar dicha actividad, estas se encuentran localizadas al Este de la Sierra de la Silla N.L. y forman parte del proyecto Benemérito-Linares Norte (BLN) de Pemex Exploración y Producción. El procesado de dichas líneas sísmicas se realizó en el Centro de Procesado Sismológico de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U.A.N.L. con autorización de PEP. La interpretación de estas líneas sísmicas contribuirá al conocimiento de las estructuras que yacen en el subsuelo de esta porción del país, así como los procesos tectónicos involucrados para su desarrollo, en el marco de la evolución geológica del Noreste de México.

Es en ese sentido, que uno de los puntos importantes en el desarrollo de este trabajo es evaluar los efectos de la Orogenia Laramide en el área de estudio, a través de la interpretación de las secciones sísmicas, datos de pozos y datos de campo (estructurales) de la Sierra de Papagayos.

Como parte del trabajo se llevó a cabo la interpretación de 30 líneas sísmicas que comprenden casi todo el proyecto Benemérito-Linares Norte, esto se realizó con el software Petrel de la compañía Schlumberger. Inicialmente se contempló trabajar con 5 líneas sísmicas pero para obtener mejores resultados, se correlacionaron los horizontes

en todo el proyecto Benemérito-Linares Norte dichos horizontes comprenden las formaciones que van de la Formación Olvido del Jurásico Superior, a la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior, con base en los productos obtenidos se realizó la interpretación del área que se describe con detalle en el trabajo.

### ***1.1.- Hipótesis***

A partir de información de pozos perforados en la región, el reproceso e interpretación de la información sísmica disponible, postular el efecto de la deformación Laramídica en la secuencia sedimentaria de edad Cenozoica localizada al oriente de la Sierra de la Silla N.L.

### ***1.2.- Objetivos***

- ✓ Establecer la influencia de la deformación Laramide al Oriente de la Sierra de la Silla, N.L, a partir de información sísmica 2D.
- ✓ Realizar una comparación entre el software de procesado de datos con el que cuenta el Centro de Procesado Sísmico de la F.C.T. y un software comercial para determinar su eficiencia, ventajas y desventajas.

#### ***1.2.1.- Objetivos Particulares***

- ✓ Interpretación de líneas sísmicas 2D del prospecto Benemérito-Linares Norte.
- ✓ Realizar una correlación de las secciones sísmicas con información de pozos.

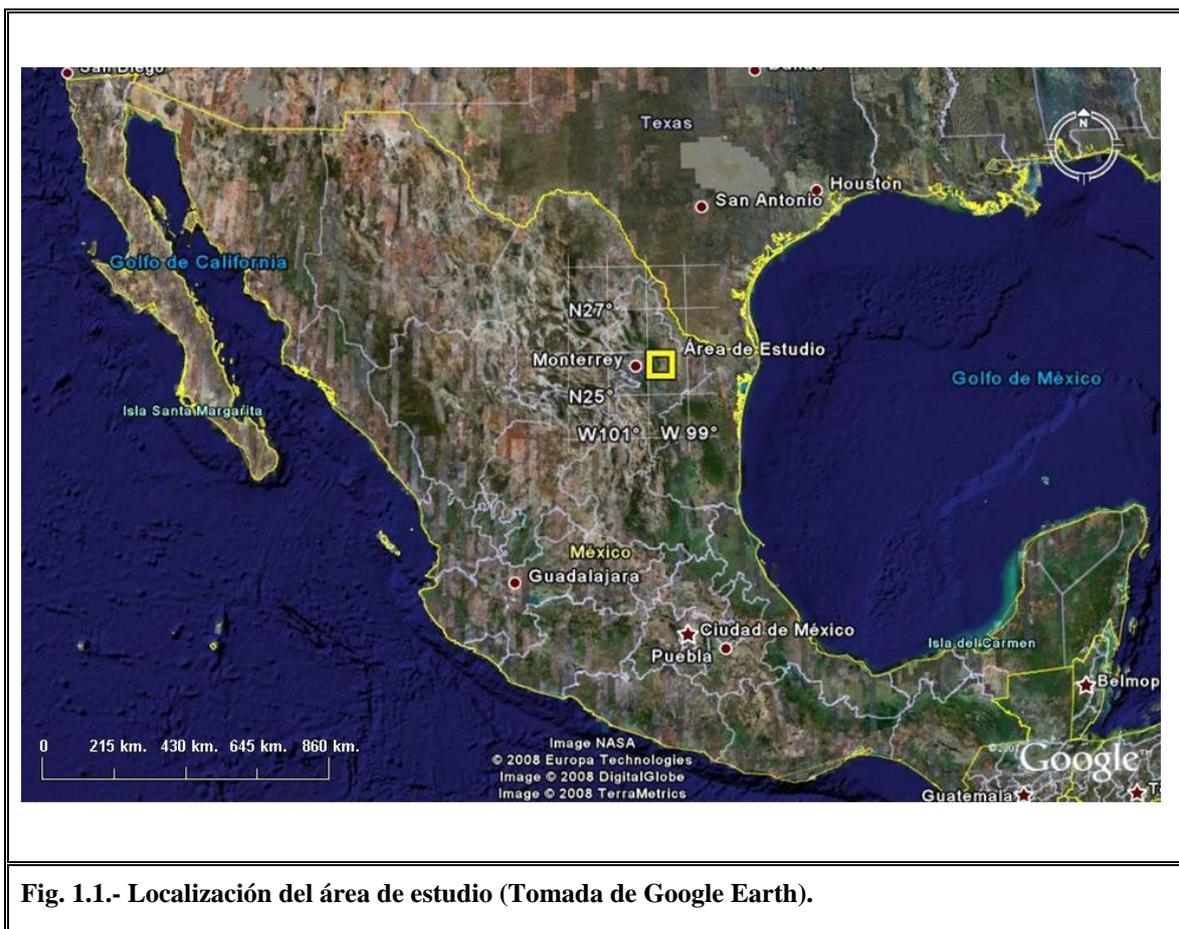
### ***1.3.- Metas***

Los objetivos antes mencionados se realizarán a través de las siguientes metas:

- ✓ Selección y reproceso de líneas sísmicas 2D del prospecto Benemérito-Linares Norte en el Centro de Procesado Sísmico de la FCT de la UANL con el software SeisUp.
- ✓ Identificación de las formaciones que cortan los pozos disponibles en el área de estudio.
- ✓ Correlación de las secciones sísmicas y con los datos de pozos.

#### 1.4.- Localización

El área de estudio se encuentra al Oriente de la Sierra de la Silla, en el límite Este de la saliente de Monterrey (Figs. 1.1 y 1.2).



La mayor parte de las (4) líneas sísmicas que se reprocesaron se encuentran localizadas entre la Sierra de la Silla y la Sierra de Papagayos, solo la línea 156 se localiza hacia el

Este de la Sierra de Papagayos y fue elegida por la continuidad que presenta con la línea 158, y la línea 178 es la única que atraviesa toda el área de SW a NE.

La figura 1.2 muestra el área de estudio con más de detalle. Se puede apreciar que se encuentra al Oriente de la Sierra Madre Oriental y de la Sierra de la Silla.

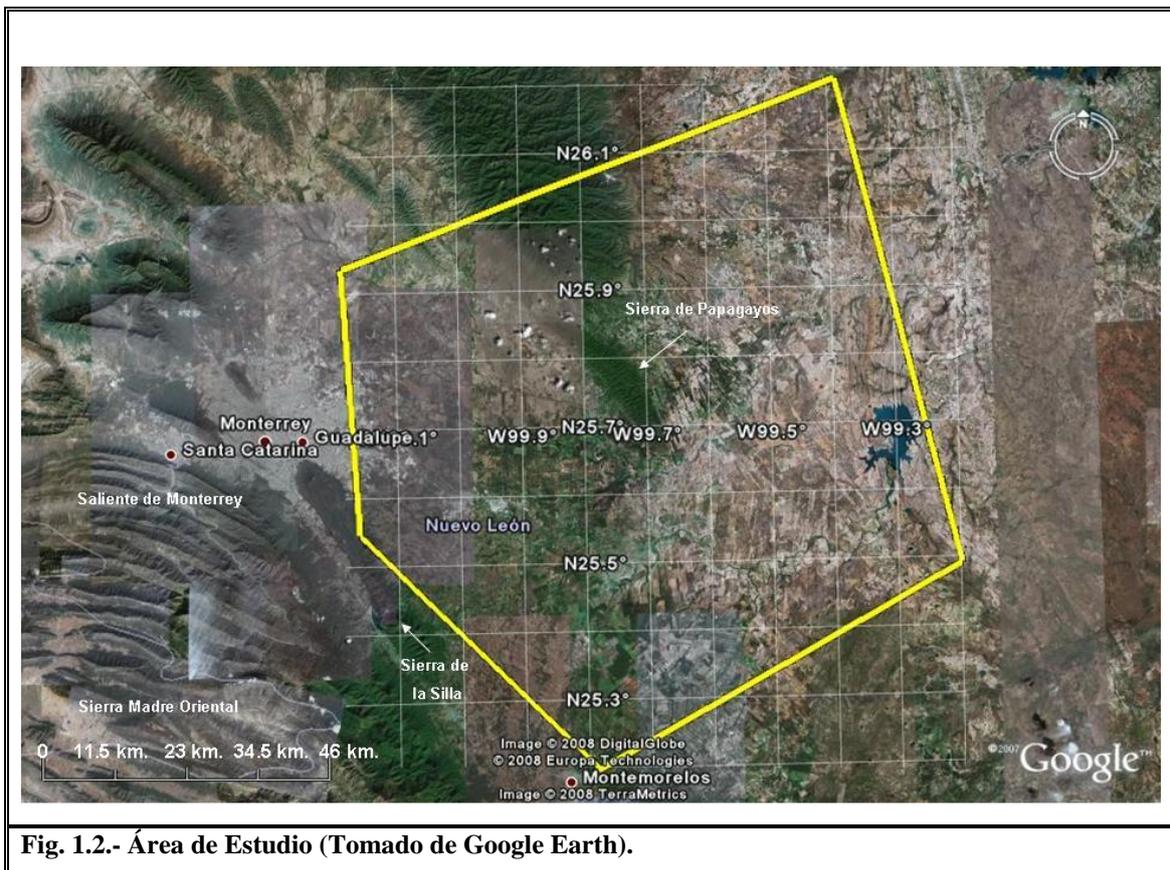


Fig. 1.2.- Área de Estudio (Tomado de Google Earth).

Cabe mencionar que las líneas sísmicas utilizadas en esta tesis corresponden al proyecto Benemérito-Linares Norte (BLN). La Figura 1.3 muestra el área de cobertura de las líneas sísmicas que se adquirieron en dicho estudio.

Se trabajo con 30 líneas sísmicas de las cuales se reprocesaron las siguientes: 097, 156, 158, 172, 178 y el resto se utilizó sólo para la parte de interpretación y la elaboración de las configuraciones en tiempo.

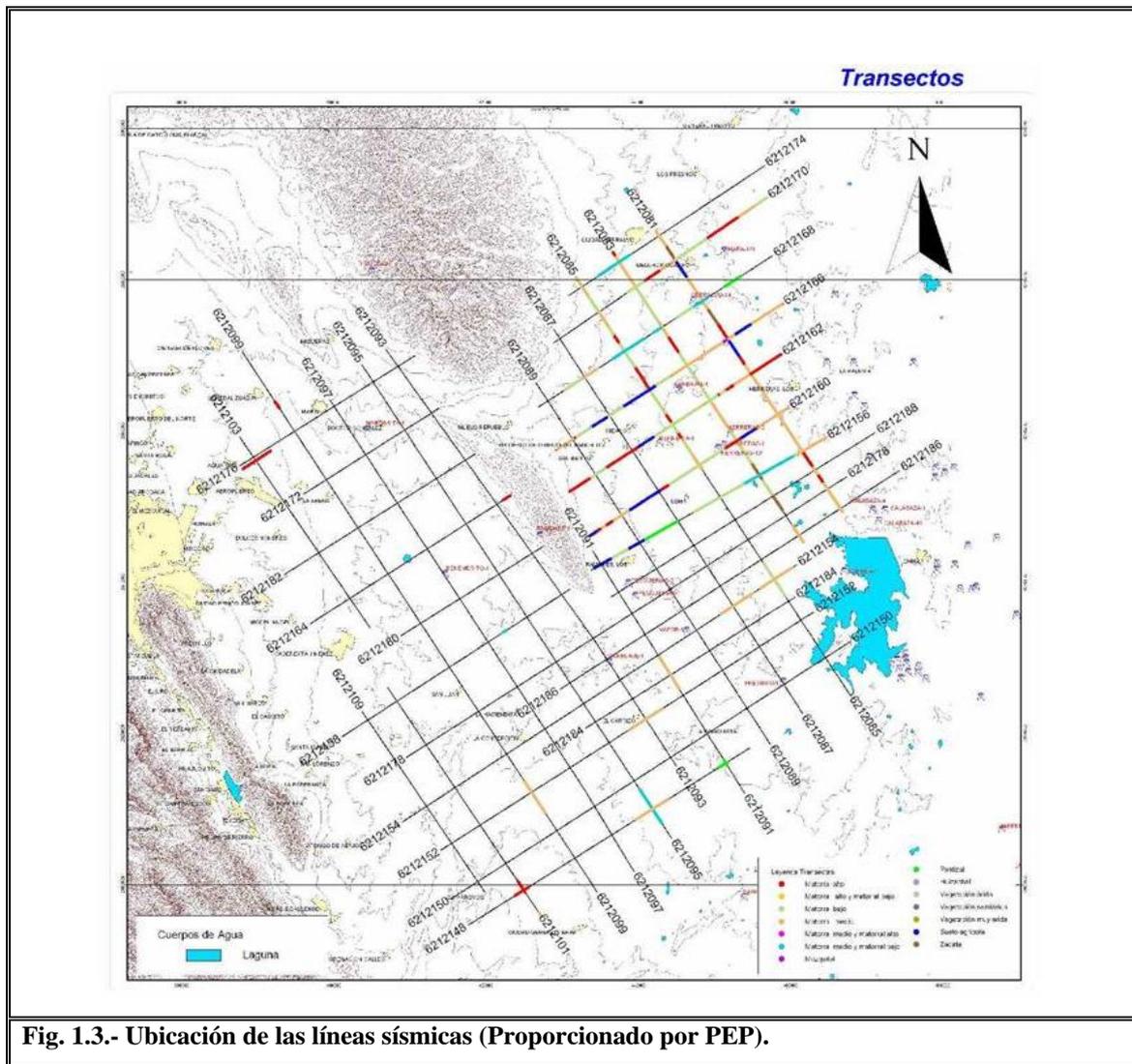


Fig. 1.3.- Ubicación de las líneas sísmicas (Proporcionado por PEP).

## 1.5.- Características del área

### 1.5.1.- Localización del levantamiento Sísmico BLN

El Estudio sísmico Benemérito Linares Norte, se localiza dentro de los municipios de Apodaca, China, Cadereyta de Jiménez, Cerralvo, Doctor González, General Terán, General Treviño, General Zuazua, Juárez, Los Herreras, Los Ramones, Marín, Melchor Ocampo, Montemorelos, Higuera y Pesquería, todos pertenecientes al Estado de Nuevo León. El estudio sísmico abarca una superficie de 6300 km<sup>2</sup> aproximadamente (Reporte interno, PEP), dentro de esta superficie se distribuyeron 34 líneas sísmicas que conformaron el Estudio (Fig. 1.4).

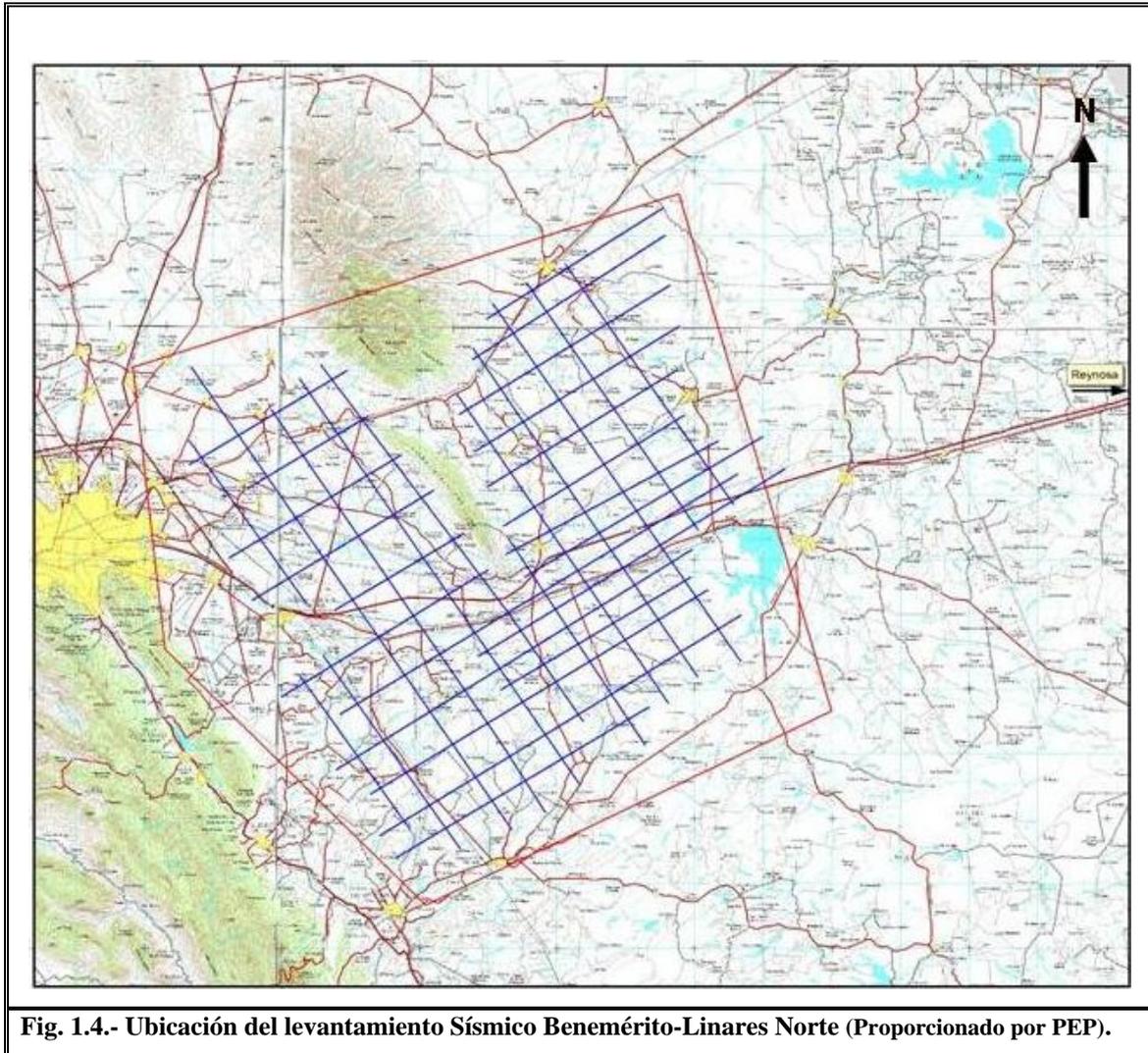


Fig. 1.4.- Ubicación del levantamiento Sísmico Benemérito-Linares Norte (Proporcionado por PEP).

### ***1.6.- Límites y referencias***

El área de Estudio se localiza en el sector poniente del Proyecto Integral Cuenca de Burgos y comprende una superficie de 14,081 km<sup>2</sup>, de los cuales el 100% queda comprendido en el estado de Nuevo León. El centro del área de estudio se localiza aproximadamente a 145 km al SW de Reynosa Tamaulipas y a 95 km al SE de Monterrey, N.L. (Reporte interno, PEP).

### ***1.7.- Objetivo del levantamiento***

En la porción central y occidental del área de Estudio se requiere adquirir datos sísmológicos en dos dimensiones, de buena calidad y de alta resolución, que permitan precisar el comportamiento estructural – estratigráfico del Cretácico Inferior y Jurásico en alineamientos observados entre los pozos Linares-1 y Benemérito-1 con el objetivo de encontrar acuñamientos contra la Paleo península de Tamaulipas e Isla de San Carlos

de cada una de las formaciones jurásicas y cretácicas y ubicar los sedimentos depositados en zonas de alta energía que son los más susceptibles como receptáculos de hidrocarburos, siendo los siguientes objetivos:

- a) Para la porción central y oriental del área de estudio se requiere definir la posible presencia de cuerpos turbidíticos en el Paleoceno Formación Midway.
  
- b) Confirmar la continuidad de estructuras tipo anticlinal hacia la parte sureste del área de estudio, que permita evaluar en mejor posición estructural dolomías y calcarenitas de las formaciones Zuloaga y Olvido del Jurásico Superior, así como rocas calcáreas dolomíticas fracturadas de la formación Tamaulipas Inferior del Cretácico Inferior.

### **Profundidades del objetivo**

Las profundidades de los objetivos son descritas a continuación:

- ✓ **Paleoceno Fm. Midway:** 1300-1950 m (0.800 - 1.180 s)
- ✓ **Cretácico Fm. Tamaulipas Inferior:** 2900-3000 m (1.520 - 1.580 s)
- ✓ **Jurásico Fm. Superior Olvido:** 4100-4700 m (1.950 - 2.400 s)

### **1.8.- Antecedentes Geofísicos**

Como ya se mencionó el marco geológico y tectónico del noreste de México se encuentra documentado en términos generales a partir de una gran cantidad de estudios geológicos superficiales; sin embargo, la estructura cortical permanece relativamente desconocida debido a la ausencia de información publicada de perforaciones profundas y estudios geofísicos. Sin embargo el conocimiento de la estructura profunda es necesario porque es una pieza importante para conocer y entender la evolución tectónica de esta región, así como por los intereses académicos y económicos asociados a hidrocarburos.

Los estudios geofísicos realizados en esta región se pueden dividir en dos grupos, gravimétricos-magnéticos y sísmicos. Mickus y Montana (1999) presentan una revisión detallada de los estudios gravimétricos y magnéticos realizados para la porción Noreste de México. Se ha delimitado de manera regional la estructura litosférica a partir de mapas de anomalías isostáticas, gravimétricas de Bouger y de una serie de modelos gravimétricos y magnéticos en 1 y 2 dimensiones, encontrando que el espesor cortical disminuye hacia el Golfo de México. Combinando los mapas de anomalías isostáticas y los modelos gravimétricos se han estipulado numerosas discontinuidades corticales (del tipo megashear) existentes en el noreste de México, además de determinar la configuración de la cuenca de Parras, la cual contiene 5.4 km de sedimentos. Finalmente, estos autores proponen que el espesor cortical disminuye de 41 km cerca de Zacatecas a 35 km a lo largo de la planicie costera del Golfo.

Con respecto a los estudios sísmicos (ondas superficiales, refracción y reflexión), los pocos datos publicados no se localizan en el NE de México. Keller y Shurbet (1975) realizaron un análisis de ondas superficiales y determinaron un espesor cortical promedio de 32 Km dentro del embalse del Río Grande. Gombert *et al.*, (1988) instalaron 3 sismógrafos de periodo largo en Monterrey, Durango y Chihuahua, con la finalidad de estudiar la estructura cortical de la parte central-norte del país (lo que ellos denominan “*The Central Plateau region of northern México*”). El análisis de los datos fue a partir de registros telesísmicos en estaciones digitales y analógicas (medición de velocidades de fase entre dos estaciones). A partir del modelado de datos de ondas superficiales, encontraron que el espesor cortical es aproximadamente de 40 Km y las velocidades de ondas compresionales y de corte son de 7.8 y  $> 4.4$  Km/s, respectivamente (estas velocidades están más relacionadas con la provincia de Cuencas y Sierras y el Golfo de California que con la región noreste del país). Sin embargo, Chulick y Money (2002) a partir de una revisión y recopilación de datos de perfiles sísmicos (velocidades de propagación de diferentes fases) y espesores corticales en Norteamérica (Canadá, Estados Unidos y México) encontraron la porción noreste del país las velocidades promedio de las ondas Pn están entre 8.2 y 8.4 km/s (las velocidades promedio de la interpolación de sus datos). Winker y Buffler (1988) a partir de varios perfiles de reflexión sísmica a lo largo de la planicie costera del Golfo de México determinaron que la estructura general y espesor de las rocas sedimentarias de edad Mesozoica y Cenozoica varía entre 1 a 3 Km de espesor a lo largo de la porción de la costa Mexicana.



## 2.- Marco Geológico Regional

La Sierra Madre Oriental esta compuesta principalmente por una secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas del mesozoico, que fueron plegadas y cabalgadas por los esfuerzos máximos de la Orogenia Laramide durante el Paleoceno tardío-Eoceno temprano. Esta cordillera presenta dos flexiones importantes en su estructura: una en las cercanías de Torreón, Coahuila y otra en la vecindad de Monterrey, Nuevo León. Esta última se denomina Curvatura de Monterrey (Fig. 2.1). Se da el nombre de Curvatura de Monterrey al área en donde la Sierra Madre Oriental cambia su tren estructural de una dirección norte-sur a una dirección casi este-oeste al sur-oeste de Monterrey, incluye todos los pliegues en el área comprendida entre las ciudades de Saltillo, Monterrey, Linares y Concepción del Oro (Padilla y Sánchez, 1985).

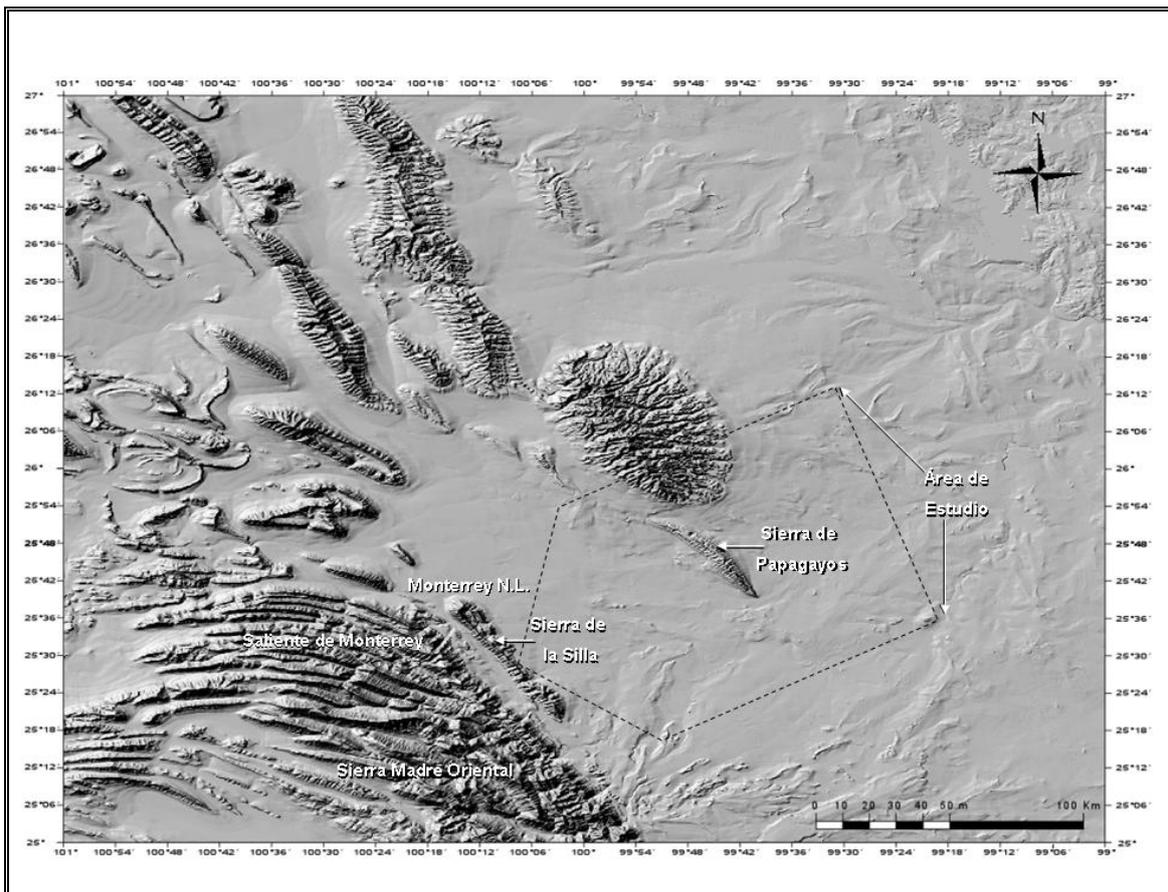


Fig. 2.1.- Curvatura de Monterrey y al este el área de estudio.

La vergencia general de los pliegues (recostados hacia el Norte y Noreste) indica que la dirección de movimiento de la cadena montañosa fue hacia el noreste, pero direcciones locales, indicadas por diferentes vergencias, sugieren que dentro de la Curvatura de Monterrey existieron varias “placas de deslizamiento por décollement” que se movieron independientemente entre ellas en diferentes direcciones (Padilla y Sánchez, 1985). Estos grupos de pliegues con diferentes direcciones de movimiento corresponden con el área Norte, área Sur, área de basamento somero, área de vergencia opuesta y área del anticlinal de La Silla. Las formas arqueadas de los pliegues de esta región fueron producidas cuando las rocas mesozoicas se deslizaron regionalmente hacia el noreste sobre evaporitas y lutitas del Jurásico Superior. Los bloques estables de las paleo-islas de Coahuila y San Carlos actuaron como barreras contra las cuales las rocas sedimentarias mesozoicas fueron plegadas y cabalgadas. La Curvatura de Monterrey se localiza en el extremo sureste del Golfo de Sabinas, al sur del *horst* de la Isla de Coahuila y al oeste del *horst* de la Isla de San Carlos. La mayoría de las rocas presentes en la Curvatura de Monterrey son del mesozoico y varían en edad del Triásico Tardío al Cretácico Tardío; pero en algunos lugares estas rocas se encuentran intrusionadas por plutones emplazados durante el Terciario medio (Padilla y Sánchez, 1985).

## **2.1.- Paleogeografía y Estratigrafía**

### **2.1.1.- Permo-Triásico**

El marco geológico regional del noreste de México se deriva a partir del Permo-Triásico cuando se da la unión y separación de la Pangea, quedando las islas de Coahuila, Guaxcamá - Miquihuana, la Península de Tamaulipas y el archipiélago formado al sur y sureste por el Arco de Tamaulipas, como paleo elementos heredados de una topografía resultante al cierre del Proto Atlántico en el Noreste de México, en las zonas frontal e interna del Sistema Marathon - Ouachita del sur de Norteamérica. Al final de este periodo, el alóctono del Gneis Novillo, el Esquisto Granjeno y la sección sedimentaria del Paleozoico, situado al oeste de Ciudad Victoria, Tamps., alcanzó su posición actual, a través de sistemas de fallas que pueden tener relación entre otras, con las de Mojave - Sonora, San Marcos y La Babia (Goldhammer *et al.*, 1991; Padilla y Sánchez, 1982).

### **2.1.2.- Triásico Superior**

Al inicio de la fragmentación de la Pangea y desarrollo de la apertura del Golfo de México, evolucionaron sobre el basamento ígneo y metamórfico, una serie de fosas orientadas Norte - Sur, que fueron rellenadas por sedimentos rojos continentales en ambientes de abanicos aluviales y lacustres de la Formación Huizachal, los que posteriormente fueron deformados (Goldhammer *et al.*, 1991).

### **2.1.3.- Jurásico Inferior**

Al separarse las placas de Sudamérica y Norteamérica, se producen movimientos distensivos que generan en las zonas más débiles dos "Aulacógenos". Uno en el área norte - noreste del país, que une a la Cuenca de Sabinas con la Cuenca de Chihuahua, permitiendo en la primera, el depósito de areniscas y conglomerados rojos (Formación Palomas) que subyacen discordantes a sedimentos evaporíticos del Calloviano - Oxfordiano. El otro "Aulacógeno", dio origen a la Cuenca de Huayacocotla, donde se depositó una sección arena - arcillosa calcárea, en forma de abanicos aluviales y sistemas fluvio deltáicos de la Formación Huayacocotla, cuya influencia marina proviene del occidente (Tarango Ontiveros y Eguiluz de Antuñano, 2005).

### **2.1.4.- Jurásico Medio**

En áreas del norte, centro y sur de México, en estrecha relación con el adelgazamiento de la corteza continental y la posterior profundización de los ambientes sedimentarios, se genera durante el final de este periodo (Bathoniano-Calloviano), el depósito de facies continentales litorales y marinas tipo "sabkha", que indican influencia del mar Occidental, dando lugar a secuencias de terrígenos, evaporitas y sal de las formaciones La Joya y Minas Viejas; Huehuetepic y Tepéxic; y Sal del Istmo de Tehuantepec en el Sureste de México (Goldhammer *et al.*, 1991; Padilla y Sánchez, 1982). En esta etapa el "Aulacógeno" de Sabinas - Chihuahua, se encontraba en un ambiente de aguas someras y recibe el depósito de sedimentos terrígenos en facies fluvio deltáicas y carbonatos de

plataforma, siguiendo a estos depósitos de evaporitas (sal y anhidritas) de la Formación Minas Viejas.

#### ***2.1.5.- Jurásico Superior***

A fines del Jurásico (Oxfordiano - Kimmeridgiano - Tithoniano) los procesos de apertura del Golfo de México, en conjunción con los sistemas de las fallas: Mojave-Sonora, San Marcos y La Babia que dieron origen al Aulacógeno de Sabinas - Chihuahua, generan en el norte - noreste de México, una lenta subsidencia que motiva hacia el centro de la cuenca, el depósito de la facies carbonatadas de aguas someras tipo sabkha de las formaciones: Novillo, Zuloaga y Olvido; y hacia sus bordes, sedimentos terrígenos fluvio deltáicos de la Formación La Joya. Formaciones que fueron cubiertas por los sedimentos transgresivos negros de carácter arcilloso (ricos en materia orgánica) y arenosos de la Formación La Casita, depositados al cierre del Jurásico en las cuencas de Chihuahua y Sabinas. Los sedimentos arcillosos, depositados en el centro de las depresiones y los arenosos, hacia los bordes de los bloques del basamento en ambientes de plataforma con desarrollos de facies fluvio deltáicas. Una vez estabilizada la transgresión en el noreste y oriente de México, ocurrió en las depresiones del oriente, en ambientes reductores, el depósito de las facies arcillo - carbonatadas con influencia de mar abierto de las formaciones: Santiago, Tamán y Pimienta; en tanto, hacia las partes menos profundas cercanas a los paleoelementos, se depositaron en ambientes litorales y de plataforma, los sedimentos terrígenos en facies fluvio deltáicas con intercalaciones de carbonatos arcillosos de la Formación La Casita. La característica de este nivel estratigráfico, es que marca una etapa de máxima transgresión por una subida importante del nivel de mar, que ocasiona en las depresiones, la acumulación de sedimentos en ambientes reductores ricos en materia orgánica (Tarango-Ontiveros y Eguiluz de Antuñano 2005; Goldhammer, 1999)

#### ***2.1.6.- Cretácico Inferior***

En este período se acentúa la transgresión marina, por la comunicación entre el Golfo de México y el Océano Atlántico, cubriéndose la mayoría de los paleoelementos por

secuencias carbonatadas evaporíticas en forma de extensas plataformas, presentando hacia sus bordes condiciones de arrecife, como se tienen en las formaciones: Guaxcamá y El Abra (parte inferior) del Cretácico Inferior en la Plataforma de Valles - San Luís Potosí, condiciones que también se desarrollaron sobre el Batolito de Tuxpan; en tanto que hacia los depocentros de las cuencas adyacentes, se depositaron calizas arcillosas con influencia de mar abierto correspondientes a las formaciones: Taraises y Tamaulipas Inferior. Otras rocas de plataforma con desarrollos arrecifales y de plataforma evaporítica, están relacionadas con las formaciones: Cupido y La Virgen en el Golfo de Sabinas. En los bordes de los paleoelementos de la Isla de Coahuila y la Península de Tamaulipas, la sedimentación fue de terrígenos asociados a facies fluviodeltáticas, identificadas al sur de Saltillo, Coah., como formaciones: La Carbonera y Areniscas Galeana, Formación San Marcos en el borde noreste de la Isla de Coahuila, y Formación Hosston en los bordes de la Península de Tamaulipas. Al final de este período, como resultado de un ascenso del nivel del mar, se depositaron regionalmente en el área de influencia del Golfo de México, sedimentos calcáreos y arcillosos negros con un espesor condensado identificados como formaciones: Otates o La Peña; depositándose sobre la Isla de Coahuila, sedimentos arenosos y limolíticos que constituyen las capas rojas de la Formación Las Uvas (Tarango Ontiveros y Eguiluz de Antuñano, 2005; Padilla y Sánchez, 1985)

### ***2.1.7.- Cretácico Medio***

El Cretácico Medio se caracteriza por transgredir en las mismas facies sobre los depósitos de plataforma carbonatada del Cretácico Inferior, depositándose en condiciones similares sobre las zonas lagunares, las evaporitas y los lodos calcáreos con bancos de arrecifes tipo "biostroma" de la Formación El Abra; en tanto hacia sus bordes, se depositaban espesores potentes de bancos arrecifales tipo "bioherma" constituyendo las barreras que dieron origen al depósito de los carbonatos del Cretácico Medio. Al mismo tiempo, entre los frentes arrecifales y las aguas de mar abierto, se depositaron las facies carbonatadas mixtas de talud de las formaciones: Tamabra y Cuesta del Cura, graduando paulatinamente a los sedimentos calcáreo arcillosos de aguas profundas de las formaciones: Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura; esta última, ya sin la influencia de los depósitos de talud. En el Golfo de Sabinas y la Cuenca

de Chihuahua, los sedimentos de esta edad están representados por facies carbonatadas de plataforma con cambios verticales y horizontales que caracterizan a la Formación Aurora y sus equivalentes laterales pelágicos (Goldhammer, 1999; Padilla y Sánchez, 1985)

#### ***2.1.8.- Cretácico Superior***

Al principio de esta época, un fuerte incremento del nivel del mar, ocasionó la disminución de la expresión de las plataformas, depositándose en gran parte sedimentos calcáreos con intercalaciones arcillosas y bentoníticas con influencia de mar abierto, hasta convertirse en margas, representados por las formaciones: Agua Nueva del Turoniano, San Felipe del Coniaciano - Santoniano y Méndez del Campaniano - Maastrichtiano.

El final de este periodo, también se caracteriza por un cambio en la polaridad de sedimentación, pasando de occidente a oriente, de facies carbonatadas a terrígenas; como consecuencia de los efectos compresivos de las fases orogénicas: Sevier y Laramídica, relacionadas con el cambio en el régimen de: dirección, velocidad y subducción entre las placas: Farallón y Norteamericana, que migraron en la misma dirección, depositándose en el frente tectónico y zona de antifosa, gruesas secciones de sedimentos terrígenos relacionados con facies regresivas fluvio deltáicas correspondientes a las formaciones: San Carlos en Chihuahua, Caracol en la Mesa Central, Parras y Difunta en la Cuenca de Parras y Navarro - Taylor en el Golfo de Sabinas (Tarango Ontiveros y Eguiluz de Antuñano, 2005).

La figura 2.2 muestra la columna estratigráfica de la curvatura de monterrey.

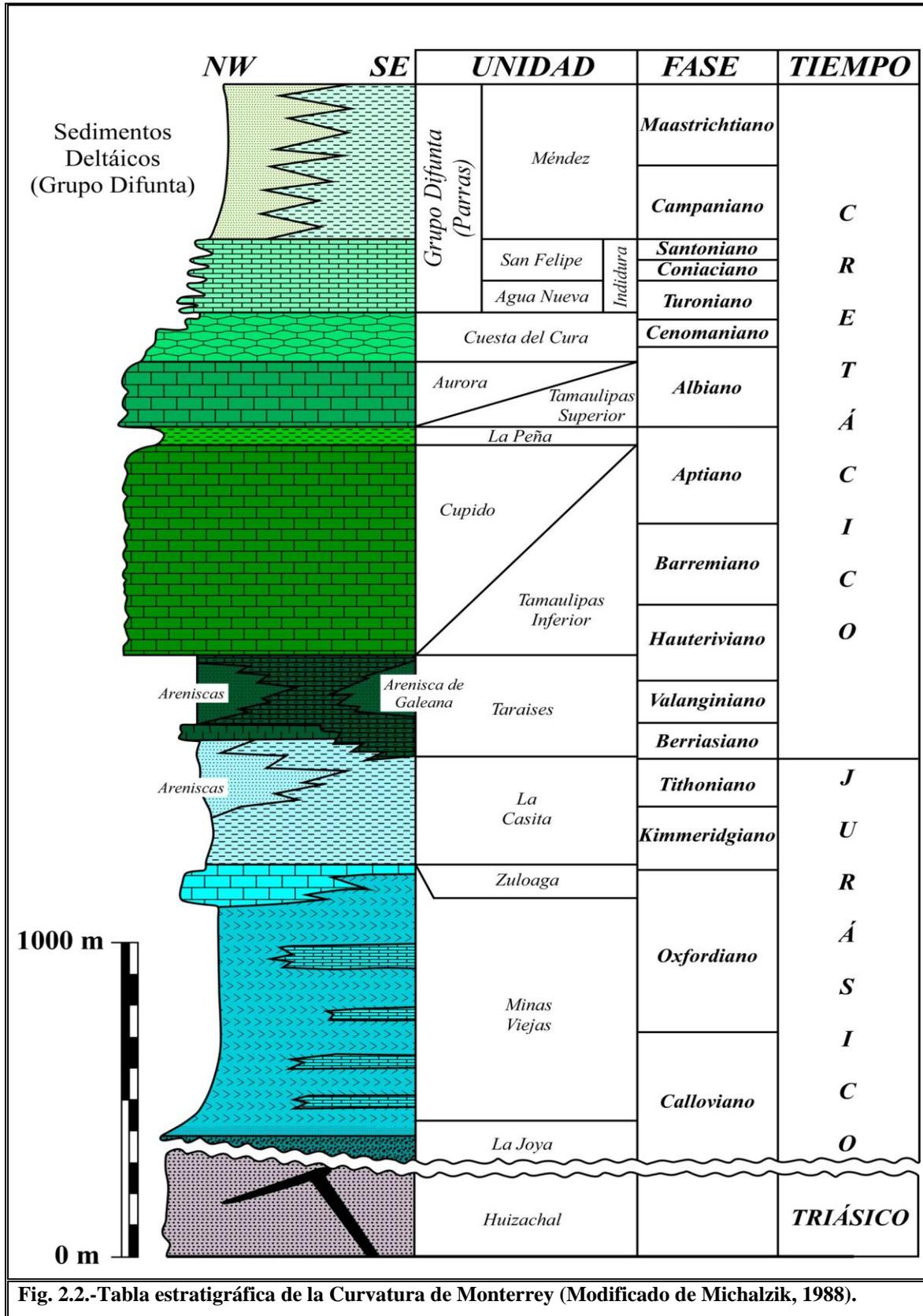


Fig. 2.2.-Tabla estratigráfica de la Curvatura de Monterrey (Modificado de Michalzik, 1988).

Los pozos ubicados en el área de estudio, muestran que la secuencia sedimentaria corresponde con la columna de la figura 2.2 y hacia la porción oriental de la misma algunos pozos reportaron depósitos de edad Terciaria.

## **2.2.- Litología del área de estudio.**

### **TRIÁSICO SUPERIOR**

#### **Formación Huizachal (Rhaetiano)**

**Litología.-** Está constituida por cuerpos potentes de conglomerados rojos de cuarzo, con zonas de canales de corte y relleno; intercalados con paquetes de limolitas, lutitas arenosas y areniscas de grano fino, medio y grueso de color rojo a guinda con lentes de conglomerados constituidos por fragmentos redondeados a sub-redondeados de rocas: ígneas, metamórficas y cuarzo de origen volcánico, con matriz arcillosa y cementante siliceo, variando hacia la cima a limonitas y lutitas de color guinda (Rueda *et al.* 1997).

**Edad y correlación.-** Su contenido fosilífero y posición estratigráfica, le determinan edad Rhaetiana. Se correlaciona con la Formación Huizachal aflorante en el Anticlinorio de Huayacocotla.

**Ambiente.-** Depósitos de ambiente continental en áreas restringidas por fosas tectónicas.

### **JURÁSICO MEDIO**

#### **Formación La Joya (Bajociano-Bathoniano)**

**Litología.-** Está constituida por conglomerados color rojo oscuro y compuesta de clastos de: cuarzo metamórfico, riolitas y limolitas rojas de la Formación Huizachal; intercalados con lutitas arenosas y limolitas color rojo a guinda, con intercalaciones de calizas arenosas gris claro hacia la parte superior (Rueda *et al.*, 1997).

**Edad y correlación.-** Se ha determinado de edad Jurásico Medio (Bajociano–Bathoniano), con alcance al Jurásico Superior Temprano (Oxfordiano) dependiendo de la localidad y posición estratigráfica con respecto a las formaciones: Novillo o Minas Viejas que le sobreyacen. Se correlaciona con la Formación Cahuwasas del Jurásico Medio del Anticlinorio de Huayacocotla y de la porción sur–central de la Cuenca Tampico Misantla; en el Calloviano–Oxfordiano con la Formación Huehuetepic de la porción centro – occidental de la Cuenca Tampico Misantla.

**Ambiente.-** La presencia de facies “Sabkha” y lentes calcáreos en la cima de la Formación La Joya, definen que su depósito se originó en un ambiente transicional de zona continental a plataforma somera con tirantes de agua reducidos.

## **JURÁSICO SUPERIOR**

### **Formación Minas Viejas (Calloviano)**

**Litología.-** Esta Formación fue definida por Humphrey (1954), está constituida principalmente por estratos compuestos de evaporitas como anhidrita, yeso y halita; aisladamente presenta intercalaciones de lutita, limolita y arenisca roja.

**Edad y correlación.-** Por su posición estratigráfica en relación a las formaciones: La Joya y Zuloaga, se le asigna edad Jurásico Medio Tardío (Calloviano). Se correlaciona con las formaciones: Olvido de la Cuenca de Sabinas y Huehuetepic de la Cuenca Tampico Misantla.

**Ambiente.-** Las evaporitas y las dolomías que constituyen la Formación Minas Viejas, definen un depósito de ambiente lagunar en una plataforma somera con intensa evaporación; y la presencia de carpetas de algas, infieren tirantes de agua menores a 5 m de profundidad.

### **Formación Zuloaga (Oxfordiano)**

**Litología.-** Esta formación fue definida por Imlay (1938), está constituida por calizas fuertemente fracturadas y karstificadas, con horizontes oolíticos.

**Edad y correlación.-** Su contenido de macrofósiles: Pelecípodos y gasterópodos (Nerinea sp. Pholadomya sp. Pleurota sp. y Trigonía sp), asociados con corales, algas, espículas de esponjas y pellas fecales (Favreina salevensis). Le determinan edad Oxfordiano. Se correlaciona con las formaciones: La Gloria en sus facies siliciclásticas y Olvido de la Cuenca de Sabinas, y Santiago de las cuencas de Tampico – Misantla y de Huayacocotla (SMO).

**Ambiente.-** Sus características litológicas y paleontológicas, sugieren un depósito de plataforma somera estable, de aguas tranquilas, calidas y oxigenadas, con frecuentes períodos de alta evaporación. Las brechas y conglomerados presentes en la parte superior de la formación y que se encuentran rellenando canales de erosión, indican exposiciones periódicas de la plataforma por encima del nivel del mar.

#### **Formación Olvido (Kimmeridgiano Inferior)**

**Litología.-** Está constituida por una secuencia de cuerpos potentes de yesos y anhidritas, con paquetes gruesos (3 a 10 m de espesor) de *packstone-grainstone* de: oolitas, pelets y bioclastos de algas, equinodermos y gasterópodos; en partes presentan lentes y capas delgadas y laminares de lutitas café rojizo a guinda, intercaladas con horizontes delgados y medianos de carpetas de algas. Es común la presencia de estratificación boudinada y estructuras diagenéticas con galerías de litófagos y grietas de desecación rellenas por lodos y limolitas de color rojizo (Heim, 1926; Tarango Ontiveros y Eguiluz de Antuñano, 2005).

**Edad y Correlación.-** Por su posición estratigráfica se le asigna edad Kimmeridgiano. Se correlaciona con las formaciones: La Gloria de la Cuenca de Sabinas, Minas Viejas (parte superior) de la Cuenca de La Popa y la Curvatura de Monterrey; y Huehuetepic de la Cuenca Tampico – Misantla.

**Ambiente.-** Las anhidritas y cuerpos de *packstone-grainstone*, definen que su depósito se originó en un ambiente lagunar de una plataforma somera con intensa evaporación y tirantes de agua menores a 5 m. de profundidad. Las carpetas de algas infieren épocas con tirantes de agua menores a 1 m.

### **La Casita (Kimmeridgiano – Tithoniano)**

**Litología.-** Definida por Imlay (1936), está constituida por una secuencia de lutitas negras fosilíferas, limolitas, areniscas calcáreas y calizas arcillosas en ocasiones ligeramente fosfatadas. Presenta en su parte inferior horizontes carbonosos y concreciones calcáreas con Amonites del Kimmeridgiano medio-Tithoniano (Jurásico Superior).

**Edad y correlación.-** Su edad está determinada por los grupos faunísticos de: Radiolarios, gasterópodos, pelecípodos y cefalópodos, esencialmente estos últimos, donde los géneros de amonitas: *Kossmatía sp.*, *Berriasella sp.* e *Idoceras sp.* son característicos del Kimmeridgiano – Tithoniano. Se correlaciona con las formaciones: La Casita de la Cuenca de Chihuahua y Pimienta de las cuencas de Tampico – Misantla y de Huayacocotla de la Sierra Madre Oriental.

**Ambiente.-** La presencia de moluscos cefalópodos (amonitas) en las lutitas negras de la formación La Casita, sugieren un depósito de cuenca cerrada con aguas nerítico someras hacia los bordes continentales y nerítico profundas en su depocentro; el color negro y la piritita indican condiciones de circulación restringida y escasa oxigenación.

### **Cretácico Inferior**

#### **Formación Taraises (Berriasiano-Hauteriviano)**

**Litología.-** En el área del Valle de Huizachal, está constituida por lutitas y limolitas calcáreas de estratificación mediana a gruesa en partes con intercalaciones medianas de *wackestone–packestone* de oolitas, pelets y bioclastos, presentando horizontes delgados y medianos con abundantes cristales de feldespatos alcalinos y capas delgadas de carpetas de algas (Imlay, 1936).

**Edad y correlación.-** Por posición estratigráfica y contenido microfaunístico, a la Formación Taraises se le asigna edad Berriasiano – Hauteriviano. Por cambio de facies, se correlaciona de la base a la cima con las formaciones: Menchaca, Barril Viejo, Padilla, La Mula y La Virgen de facies de plataforma somera y con la Formación San Marcos de facies terrígenas fluviodeltáicas de la Cuenca de Sabinas; con la

formaciones: La Carbonera y Galeana del sector transversal de la Sierra Madre Oriental que afloran en el Cañón de Los Chorros y en el área Galeana – San Roberto N. L, respectivamente; y con la Formación Tamaulipas Inferior de las cuencas de: Tampico – Misantla y Huayacocotla.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la Formación Taraises, indican un depósito de plataforma externa en su nivel inferior a plataforma media en su nivel superior. La presencia de feldespatos alcalinos y de carpetas de algas, indican periodos con tirantes de aguas someros de alta salinidad y constante evaporación.

### **Formación Cupido (Hauteriviano – Aptiano)**

**Litología.-** Formación definida por Imlay (1939), está constituida por *wackestone*, *packstone* y *grainstone* de pellas y bioclastos con horizontes de foraminíferos bentónicos (orbitolínidos, chofatéllidos, miliólidos, ostrácodos y textuláridos); con ocasionales bancos arrecifales tipo bioherma conformados por rudistas de caprínidos; y tipo biostroma por rudistas de requiénidos (*Toucasia sp.*) y monopleúridos. Son frecuentes las líneas estilolíticas paralelas a la estratificación, horizontes de carpetas de algas con estructuras de ojos de pájaro, oncolitos de algas, capas con galerías de bioturbación y ocasionales lentes y bandas de pedernal gris humo y café claro. En partes se intercalan con *wackestone* – *mudstone* ligeramente dolomitizado y con capas delgadas y medianas de dolomias de textura fina.

**Edad y correlación.-** El contenido faunístico de foraminíferos bentónicos: Orbitolínidos (*Orbitalina sp.*), chofatéllidos (*Chofatella sp.*), miliólidos y textuláridos, asociados con ostrácodos y con rudistas de la Familia Caprínidae de ornamentación poco evolucionada, le definen un alcance del Barremiano – Aptiano Inferior. Se correlaciona con las formaciones: Las Uvas de facies siliciclásticas de la Isla de Coahuila, La Virgen y La Cuenca de Sabinas; Taraises en su miembro superior de La Curvatura de Monterrey y Tamaulipas Inferior de las cuencas de: Tampico – Misantla y Huayacocotla.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la Formación Cupido en las áreas donde fue estudiada, indican un depósito de plataforma interna somera de aguas tranquilas, calidas, oxigenadas, de escasa circulación y con tirantes variables de 1

a 30 m. de profundidad, que permitieron el desarrollo de bancos arrecifales tipo biostroma y en partes tipo bioherma; estos últimos, en áreas reducidas de laguna afectadas por aguas de alta energía. La presencia de carpetas de algas, galerías por bioturbación y costras de desecación, indican intensa evaporación y erosión subaérea durante su depósito.

### **Formación La Peña (Aptiano)**

**Litología y espesor.-** Formación definida por Imlay (1936), esta constituida por mudstone arcilloso gris oscuro y negro de micro fauna planctónica de tintínidos, estratificados en capas delgadas a medianas, y de aspecto laminar con numerosos ejemplares de cefalópodos (*Amonita sp.*); con lentes y bandas de pedernal negro, y en alternancia con margas arenoso carbonosas de estratificación delgada.

**Edad y Correlación.-** La macrofauna de pelecípodos y amonitas de los géneros: *Parahoplites sp.*, *Dufrenoya justinea*, *Cossyella reeidesis* y *Neocomites nazasensis*, asociadas con la microfauna planctónica de *Nannoconidos* (*Nannoconus wasalli*, y *Nannoconus Truitti*) y *Tintinidos* (*Colomiella recta*, *Colomiella mexicana*, *Colomiella Coahuilensis*), le definen edad Aptiano Medio–Superior. Se correlaciona por cambio de facies con la Formación Las Uvas de la Sierra de las Delicias y con el Horizonte Otates de las Cuencas Tampico–Misantla y Huayacocotla.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la Formación La Peña, definen un depósito de plataforma externa a cuenca cerrada de carácter euxínico con abundante aporte de terrígenos y desarrollo de pelecípodos, cefalópodos (*Amonita sp.*) y microfauna planctónica que favoreció la generación de hidrocarburos.

### **Formación Aurora (Albiano)**

**Litología.-** Esta formación fué definida por Burrows (1910). Esta formación consiste de una secuencia de rocas calcáreas de grano fino a medio (*wackestone–grainstone*) de color gris oscuro que intemperiza a café claro. Puede presentar estratos masivos, abundancia de rudistas, miliólidos, oolitas, pellets, pelecípodos, radiolarios, equinodermos, *dictyoconus*, moluscos, caprínidos, algas y nódulos de pedernal.

**Edad y correlación.-** La microfauna bentónica de miliólidos, dicyclínidos, dictyocónidos y textuláridos, asociados con la microfauna planctónica de tintínidos, géneros: *Colomiella recta bonet* y *Colomiella mexicana Trejoi* (estos últimos en la base de la formación), se le asigna edad Albiano Inferior–Medio. Se correlaciona con la formaciones de facies de plataforma: Glen Rose de la Cuenca de Chihuahua, Abra de las Plataformas de: Valles–S.L.P. y Tuxpan de la Cuenca de Tampico Misantla; y con la formación Tamaulipas Superior de facies de aguas profundas del área centro–oriental de la Sierra Madre Oriental y de la Cuenca de Tampico Misantla.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la formación Aurora, determinan un depósito de plataforma somera con tirantes de agua mayores a 30 m. Los escasos horizontes de wackestone–packestone con rudistas y microfauna bentónica; y la microfauna planctónica identificada en las muestras de mano y al microscopio, así lo infieren.

## CRETÁCICO SUPERIOR

### Formación Cuesta del Cura (Cenomaniano)

**Litología.-** Formación definida por Imlay (1936), está constituida por *mudstone-wackestone* de microfauna planctónica (globigerínidos y hedbergéllidos), de color gris oscuro a negro, dispuestas en estratos delgados y uniformes; con nódulos y bandas de pedernal gris humo.

**Edad y Correlación.-** El contenido de microfauna planctónica como: *Bishopella alata*, *Colomiella mexicana Bonet*, *Microcalamoides diversus*, *Caliesphaerulla innominata Bonet*, *Pithonella ovalis Kaufman*, *Favusella washitensis Carsey*, definen a la formación Cuesta del Cura de edad Albiano Superior – Cenomaniano. Se correlaciona con las formaciones: George Town de la Cuenca de Sabinas y Tamaulipas Superior (parte superior) de las cuencas de: Tampico–Misantla y Huayacocotla.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la Formación Cuesta del Cura, indican un depósito de ambiente nerítico profundo a batial moderado con aguas tranquilas y escaso aporte de terrígenos.

### **Formación Agua Nueva (Turoniano)**

**Litología.-** Término usado primero por Stephenson (1921) y Muir (1936) para describir a una secuencia de caliza laminar y lutita carbonosa. En la región de la Saliente de Monterrey está constituida por una secuencia de más de 100 m de caliza arcillosa, marga y lutita carbonosa de estratificación delgada a laminar, cuya coloración es de café grisáceo a gris rojizo. Contiene esporádicamente nódulos de sulfuros de hierro.

**Edad y correlación.-** La microfauna planctónica que contiene asociada con los pelecípodos de *Inoceramus sp.* e *Inoceramus labiatus*, le definen edad Turoniano. Se correlaciona con la formación Buda de la Cuenca de Sabinas.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la formación Agua Nueva, indican un depósito de plataforma externa a talud de profundidades moderadas con aporte de terrígenos y abundante bentonita.

### **Formación San Felipe (Coniaciano – Santoniano)**

**Litología.-** Muir (1936) definió a la formación San Felipe como un paquete sedimentario compuesto por una alternancia de caliza y lutita, en esta formación son típicos los intervalos de caliza moteada de manchas ovaladas oscuras que se cree son debidos a la presencia de algas. En la parte alta de la formación, la caliza se vuelve más arcillosa y de estratificación más delgada. Padilla y Sánchez (1982) describe a esta formación como una unidad de caliza margosa de color gris y de estratificación delgada, intercalada con lutita que se altera a marrón amarillento, estratos de bentonita y caliza silicificada.

**Edad y correlación.-** El contenido de microfauna planctónica de globotruncánidos (*Marginotruncana* índica) y los macrofósiles: *Balanocrisnus mexicanus*, *Ostrea plumosa*, *Suavagesia delgolveria*, *Inoceramus unduloplicatus*, le definen edad Coniaciano – Santoniano.

**Ambiente.-** Las características litológicas y paleontológicas de la Formación San Felipe, indican un depósito de mar abierto con aporte de terrígenos y bentonitas.

### **Formación Méndez (Campaniano-Maestrichtiano)**

**Litología.-** Dumble (1918) fue el primero que nombró a las lutitas que sobreyacen a las rocas de la Formación San Felipe como lutitas Papagayos; mientras que después Jeffrey (1910) les asignó el nombre de formación Méndez. Esta formación está constituida por lutita calcárea de color gris parduzco, que intemperiza a café amarillento y que presenta algunas intercalaciones de marga de color gris verdoso hasta arenisca de grano fino y limolita.

**Edad y correlación.-** La formación Méndez, por su situación estratigráfica y contenido de microfósiles planctónicos de globotruncánidos, especies: *Globotruncana calcarata*, *Globotruncana subspinosa* y *Globotruncana linneana*, se define de edad Campaniano – Maestrichtiano. Se correlaciona con las formaciones: Holstein y Parras, de las cuencas: de Sabinas y Parras respectivamente.

**Ambiente.-** Las características, litológicas y paleontológicas de la Formación Méndez, sugieren un depósito de mar abierto.

### **2.3.- Tectónica**

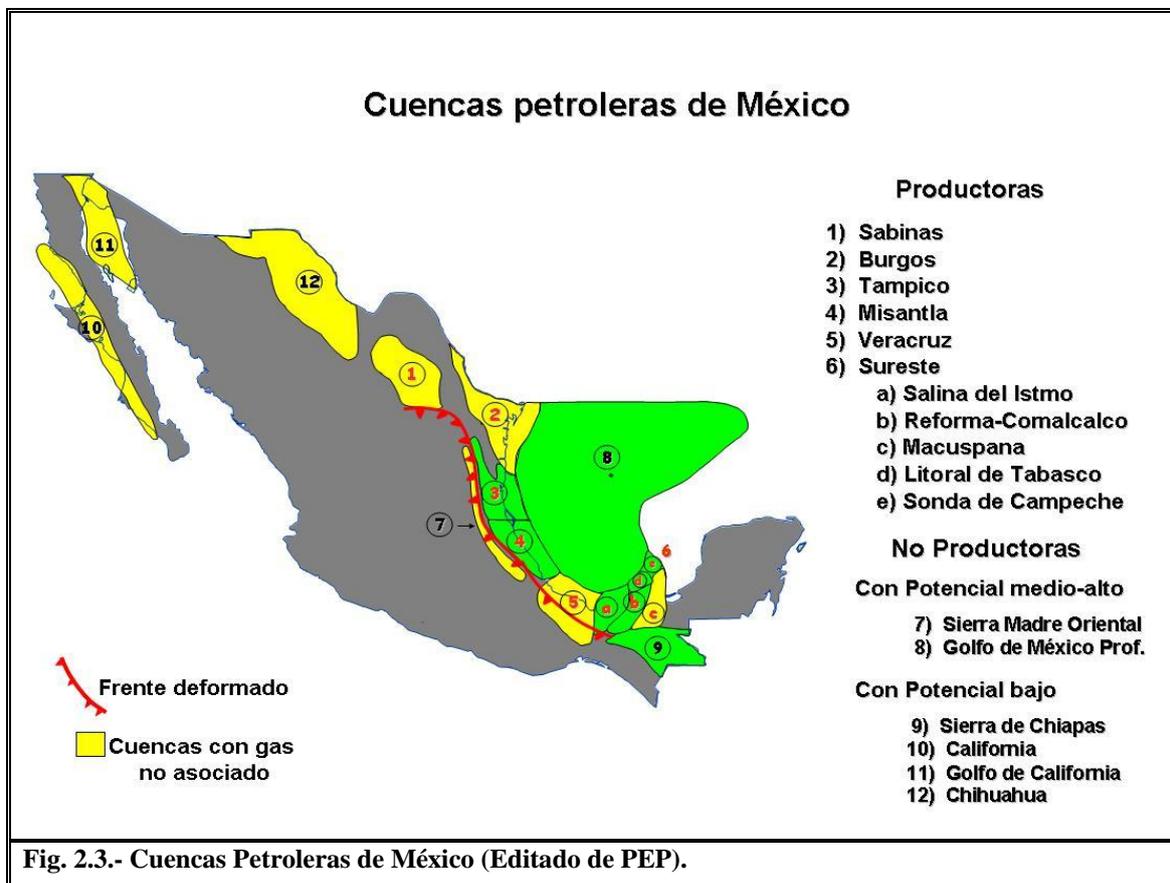
El frente tectónico de la Sierra Madre Oriental es un cinturón de pliegues y cabalgaduras donde predomina una deformación compleja, modificada por diferentes edades de deformación. La deformación que se correlaciona con las orogenias Maratón-Ouachita y Apalachiana, aparece de manera esporádica en el área ocupada por la Sierra Madre Oriental, donde las rocas del basamento cristalino se encuentran formadas por esquistos, gneis e intrusivos Precámbricos, Paleozoicos y Triásicos asociados quizás como bloques paleotectónicos reactivados durante la apertura del Golfo de México y posteriormente durante la deformación Laramide (Anderson y Schmidt, 1983; Flawn *et al.*, 1961; Tardy, 1976). Las estructuras de extensión asociadas con la apertura del Golfo de México produjeron *horts* y *grabens*, los cuales controlan la sedimentación Mesozoica (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000; McKee *et al.*, 1990). La principal unidad tectónica, es un anticlinorio formado de rocas cretácicas y jurásicas, en esta unidad tectónica destaca el anticlinal del Cerro de La Silla, que es un anticlinal recostado y alargado, su eje tiene rumbo S 26° E, en su parte sur es asimétrico y en la parte central se encuentra recostado, sus flancos se inclinan con un promedio de 40° a 60° al S 60° W.

En su flanco Norte se localiza una gran falla, que pone en contacto al Jurásico con el Cretácico (Padilla y Sánchez, 1985).

Parte de las líneas se encuentran en el límite de la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Burgos, de la cual se hace una breve descripción a continuación.

#### 2.4.- La Cuenca De Burgos

La Cuenca Burgos es una provincia geológica terciaria, (Fig. 2.3) que tiene una superficie aproximada de 49,800 km<sup>2</sup>, de la cual se ha establecido una potente columna sedimentaria con un espesor de hasta 10,000 m. Las condiciones de sedimentación para el Terciario se presentan en etapas alternantes transgresivas y regresivas, constituyendo un marco regresivo regional hacia el oriente cuya producción de gas se ha incrementado en 8 años, adicionalmente se tiene la presencia de yacimientos a nivel mesozoico, que comprende el Jurásico Superior y Cretácico, en donde también existe un gran potencial petrolífero.



La Cuenca de Burgos es una provincia petrolera productora básicamente de gas que se encuentra sobre parte de la Planicie Costera y de la Plataforma Continental del Golfo de México, en el noreste de México. Geológicamente, considerando los elementos estructurales de la región del Golfo de México (Ewing, 1991), esta cuenca constituye la porción meridional de un rasgo paleogeográfico cenozoico conocido como *Rio Grande Embayment*.

La región de la cuenca se ha diferenciado de las áreas circundantes por su distintiva evolución cenozoica, caracterizada por dos sucesos mayores: uno es la acumulación de una potente secuencia sedimentaria siliciclástica, relacionada con el desarrollo de sistemas deltáicos, que llega a tener un espesor de hasta 10,000 m (González, 1976; González y Holguín, 1992), y el otro es la manifestación de una deformación extensiva definida primordialmente por numerosas fallas normales (Harris, 1952; Guzmán, 1956; Carrasco, 1966; Rodríguez, 1969; Echánove, 1976, 1986).

El basamento de la cuenca, de acuerdo con información de algunos pozos en su margen occidental, está formado por rocas metamórficas e ígneas intrusivas cuya distribución y relaciones geológicas entre ellas no son bien conocidas ni entendidas (Ortiz Ubilla y Tolson, 2004).

La cubierta sedimentaria comprende un paquete de rocas mesozoicas (Triásico Tardío–Jurásico Medio(?)-Cretácico Tardío) y de rocas cenozoicas. En el área de la Cuenca de Burgos sólo se encuentran aflorando las rocas cenozoicas, las cuales describen hasta la línea de costa una serie de fajas orientadas en una dirección general NNW–SSE que disminuyen en edad de Oeste (Paleoceno) a Este (Mioceno). De esta manera, la distribución de las rocas cenozoicas dentro de la cuenca, dependiendo de su edad, se restringe a la zona comprendida desde su área de afloramiento hacia el oriente, manifestando un echado regional y profundizando continuamente hacia el Este, además de un marcado aumento de espesor (Yzaguirre, 1969) y una variación hacia facies de mayor batimetría (Rodríguez, 1976; Pérez-Cruz, 1992; PEMEX, 1998).

El basamento y las rocas mesozoicas tienen un comportamiento similar, ya que profundizan paulatinamente hacia el oriente, llegando a estar profundamente sepultadas hacia el centro de la cuenca. Como resultado de lo anterior, hacia la zona central de la cuenca no se conocen de manera directa las características de las rocas cenozoicas más

antiguas, de las mesozoicas y del basamento. Lo mismo sucede con el detalle de la arquitectura de la cuenca, que prácticamente no se manifiesta superficialmente, debido al bajo relieve de la zona y a las escasas y aisladas áreas de afloramiento. De esta manera, tanto las características de las unidades estratigráficas como la estructura de la cuenca se han descrito básicamente a partir de información sísmica y de pozos. Las numerosas fallas normales presentes en la Cuenca de Burgos, tanto de carácter postdeposicional como de crecimiento, conforman una serie de bloques subparalelos de orientación general norte-sur en donde el bloque de techo de la falla, generalmente al oriente, baja en dirección al centro de la cuenca.

Al igual que la distribución superficial de los depósitos sedimentarios cenozoicos, las fallas son más jóvenes hacia el este, indicando una estrecha relación espacial y temporal de la actividad tectónica y sedimentaria en el desarrollo del área. Los trabajos anteriores (e.g., González y Holguín, 1992) no han presentado un análisis estructural detallado, ya que han tenido otros objetivos, como la identificación de blancos de exploración someros, o bien por falta de resolución sísmica en las partes más profundas del área.

Por su parte, la cuenca de Burgos inició su formación con la trasgresión regional provocada por la apertura del Golfo de México (Fig. 2.4). Sin embargo, la máxima sedimentación la alcanzó durante la regresión del Terciario, que estuvo acompañada por fallamientos extensionales que provocaron una fuerte subsidencia conjugada con un gran depósito de terrígenos arcillo-arenosos que más tarde generaron hidrocarburos. Según los estudios realizados, en esta cuenca se generaron gas seco y condensado en potentes cuerpos de areniscas deltáicas y turbidíticas del Terciario (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno y Mioceno).

Esto hace suponer que la generación fue producto de las propias arcillas que, no obstante su limitado potencial, fueron capaces de generar y expulsar cantidades limitadas de hidrocarburos. Es importante señalar que el fallamiento, normal y de crecimiento, fue tan intenso durante todo el Terciario, que provocó el depósito de espesores que alcanzaron los 10 km en el depocentro de la cuenca. Esto dio lugar a una excesiva transformación térmica en las rocas del Cretácico y aún del Terciario, en conexión a un alto gradiente geotérmico de  $\sim 26^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (Ortiz Ubilla y Tolson, 2004).

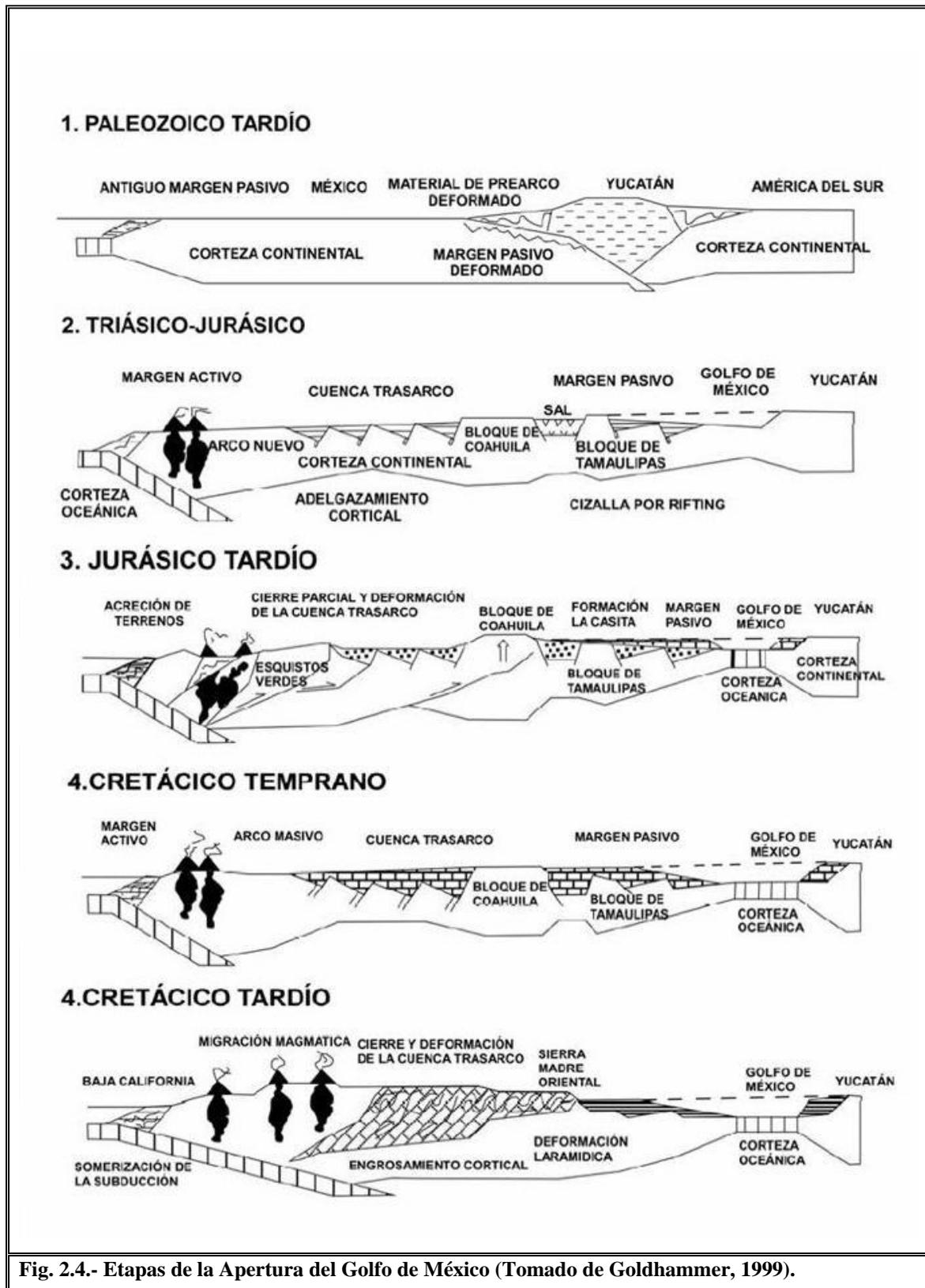


Fig. 2.4.- Etapas de la Apertura del Golfo de México (Tomado de Goldhammer, 1999).

### 3.- Método Sísmico

El método sísmico de reflexión, consiste en crear un microsismo cercano a la superficie de la tierra, mediante una pequeña vibración o explosión de aire o dinamita, con la que se genera una serie de ondas elásticas que se reflejan en los diferentes contactos de las capas que conforman la corteza terrestre. Estas ondas reflejadas al llegar a la superficie son registradas por geófonos y grabadas en equipos digitales de alta resolución (Fig. 3.1). Después, al ser procesada con sistemas de computo de gran capacidad se obtienen secciones sísmicas de la corteza terrestre las que al ser interpretadas permiten localizar los yacimientos de hidrocarburos en el subsuelo (Palafox-Rayón; 2000).

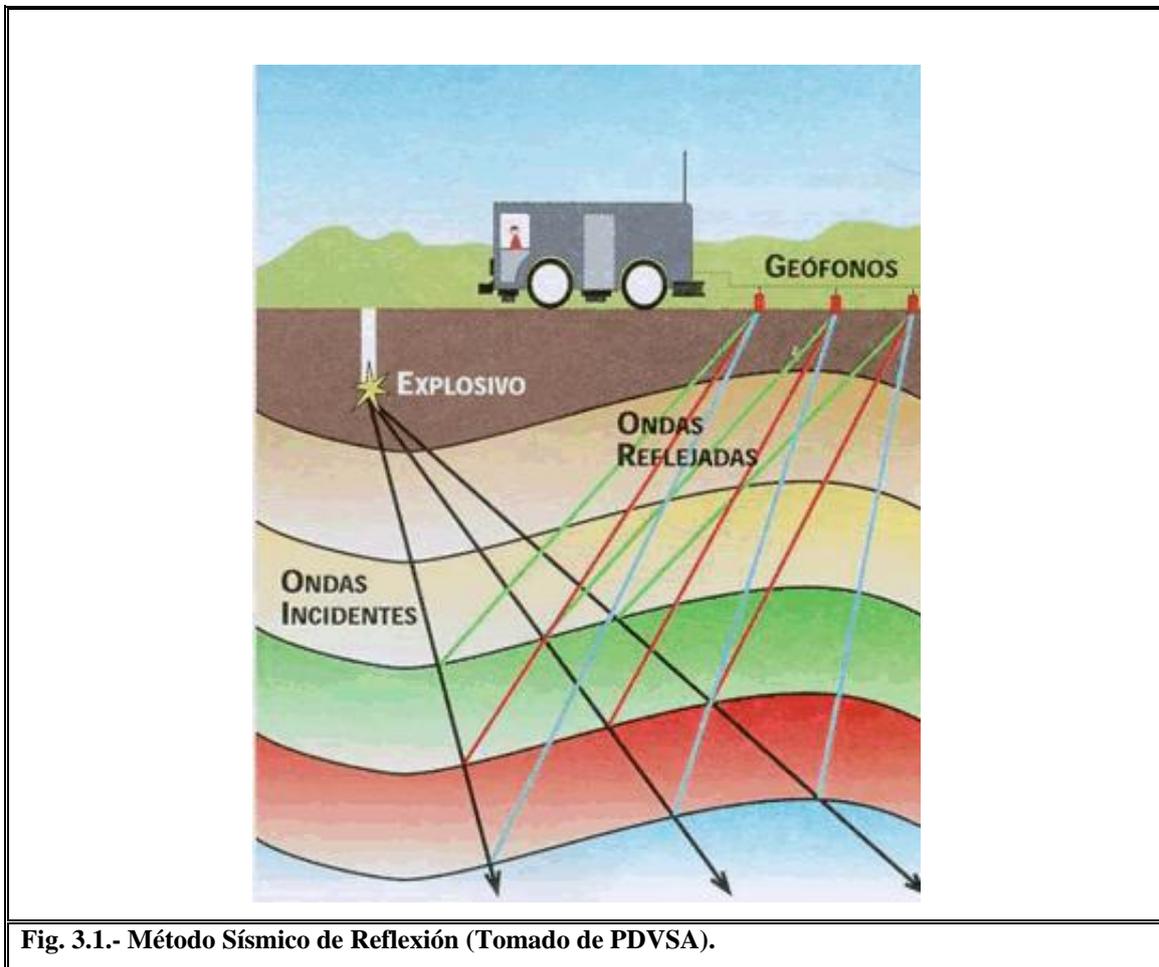
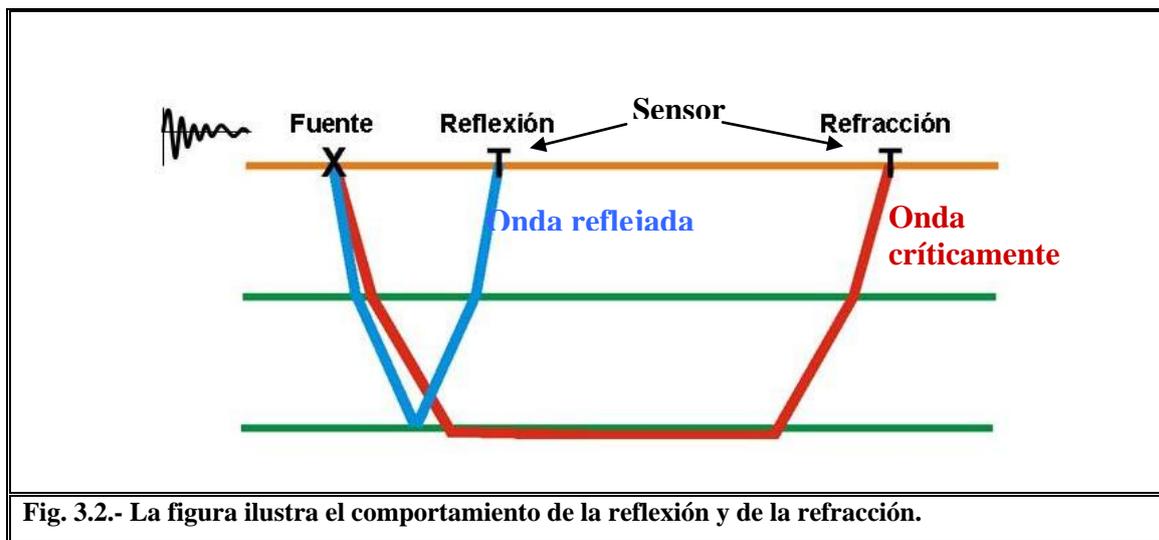


Fig. 3.1.- Método Sísmico de Reflexión (Tomado de PDVSA).

**Hay dos clases principales de estudios:**

- ✓ **Refracción sísmica:** las señales que regresan a la superficie por la refracción crítica de las interfaces del subsuelo, se graban a distancias mayores que la profundidad de investigación (Fig. 3.2).
- ✓ **Reflexión Sísmica:** la señal sísmica se refleja en las capas a la superficie y se graba a las distancias menores de la profundidad de investigación (Fig. 3.2).



**Refracción sísmica**

- ✓ Aplicaciones en la ingeniería para localización de rocas competentes
- ✓ Determinar la profundidad de la roca firme
- ✓ Exploración geotérmica
- ✓ En los estudios de reflexión sísmica para medir las variaciones laterales de velocidad, cerca de la superficie
- ✓ Definir la estructura de la Corteza

**Reflexión sísmica**

- ✓ Exploración de hidrocarburos
- ✓ Estratigrafía poco profunda
- ✓ Prospección de los sitios para instalaciones costa afuera
- ✓ Detección de cavidades en el subsuelo
- ✓ Definir la estructura de la Corteza y en tectónica

### 3.1.- El dato sísmico

La resistencia que ejerce un medio homogéneo al paso de una onda de sonido, se conoce como "impedancia acústica" y se define como el producto entre la velocidad de propagación de dicha onda en ese medio y la densidad total de dicho medio.

Si se imagina al subsuelo estratificado por interfaces definidas por cambios en la impedancia acústica, se puede definir al "dato sísmico" como aquel que resulta de registrar en escala de tiempo, mediante receptores sensibles, una onda compleja que generada por un microsismo provocado, ha viajado a través de la tierra transmitiéndose y reflejándose en los contrastes de impedancia acústica.

Los receptores empleados son generalmente geófonos (Fig. 3.3) o hidrófonos, la fuente de sonido puede ser una carga explosiva, un sistema Vibroseis, un cañón de aire, etc. y la onda compleja se conoce como "ondícula".

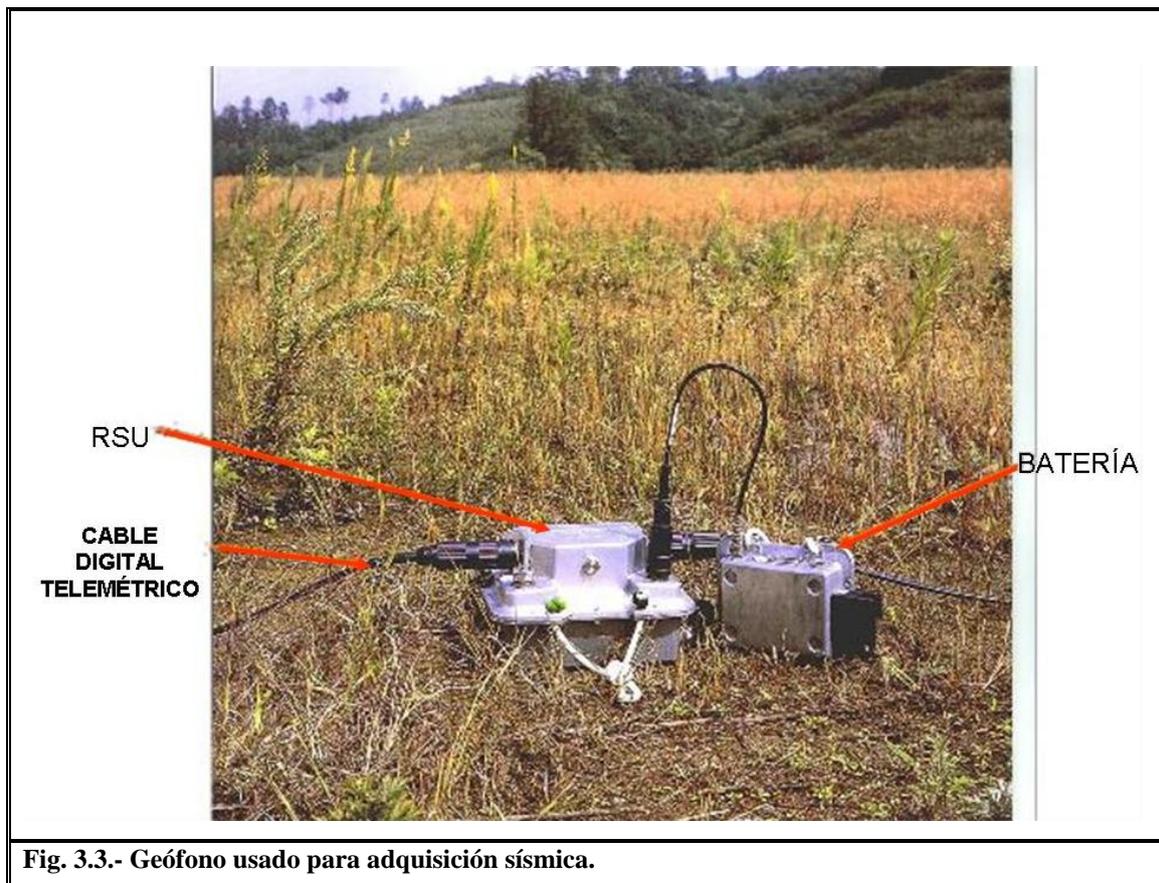
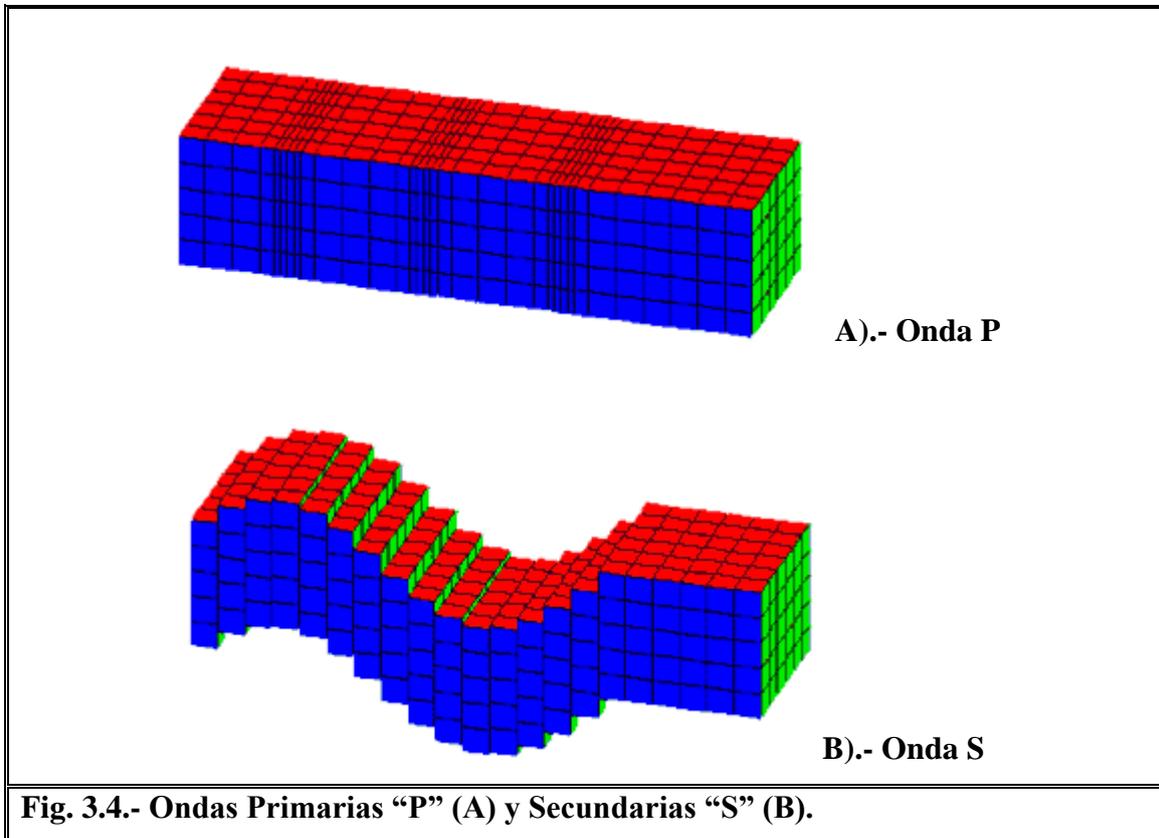


Fig. 3.3.- Geófono usado para adquisición sísmica.

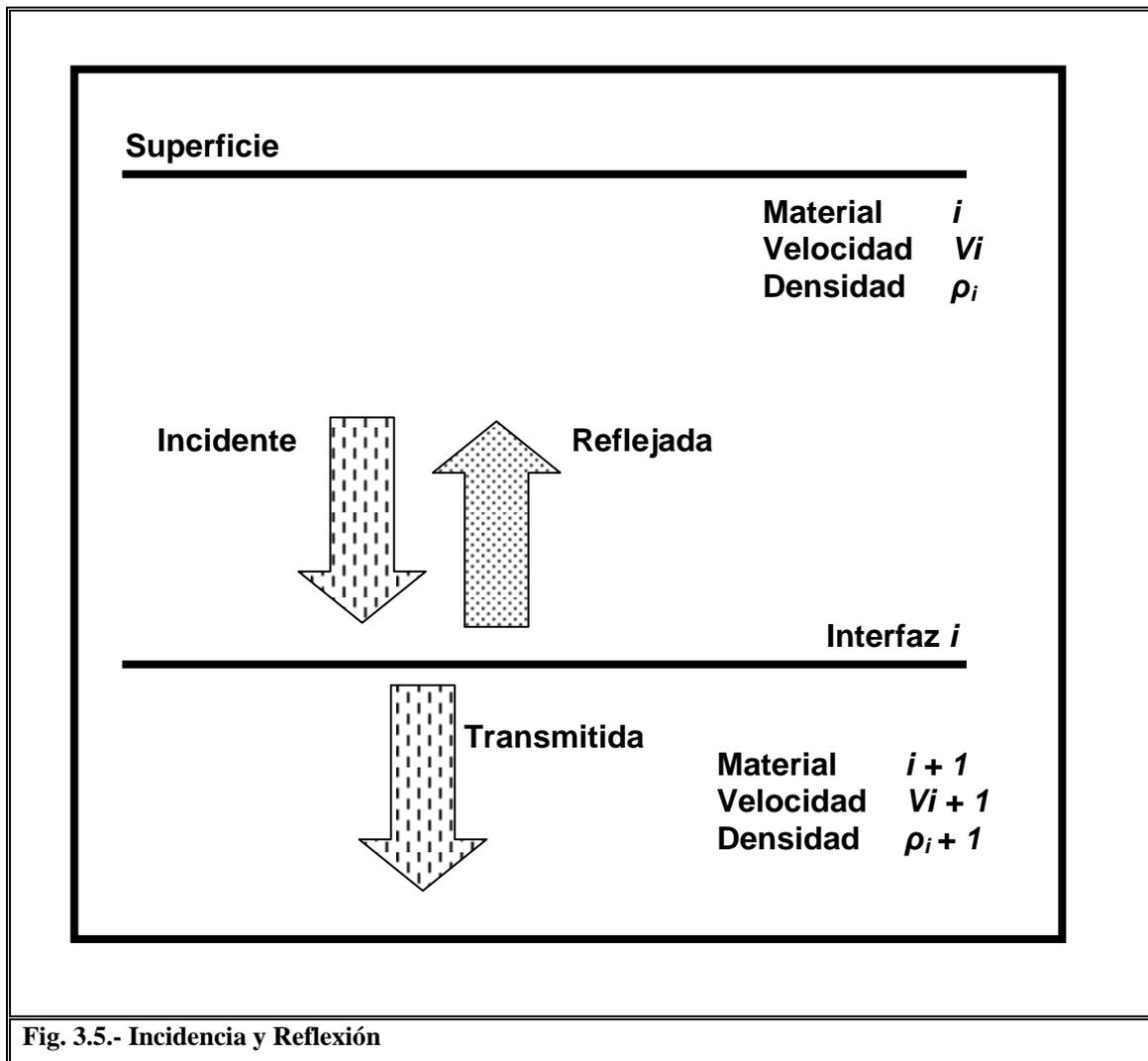
La magnitud de tales contrastes se mide en términos de "coeficientes de reflexión" y la información que contienen puede extraerse de las reflexiones primarias registradas. Se habla de "reflexiones primarias" cuando ocurre una sola reflexión de la onda antes de arribar al receptor, para distinguirlas de las "reflexiones múltiples", en las que la onda sufre más de una reflexión antes de arribar al receptor. Las reflexiones múltiples son por lo general consideradas "ruido" (Dobrin, 1976).

### 3.2.- Modelo de traza sísmica

La propagación de una onda sísmica a través de un medio, origina el desplazamiento de las partículas que lo componen. Existen dos tipos básicos de ondas elásticas de acuerdo con la dirección relativa del movimiento de las partículas respecto a la dirección de propagación de la onda: las ondas "compresionales" (ondas P) en las cuales la dirección del movimiento de las partículas es paralela a la dirección de propagación y las ondas "transversales" (ondas S) en las que la dirección del movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda (Fig. 3.4).



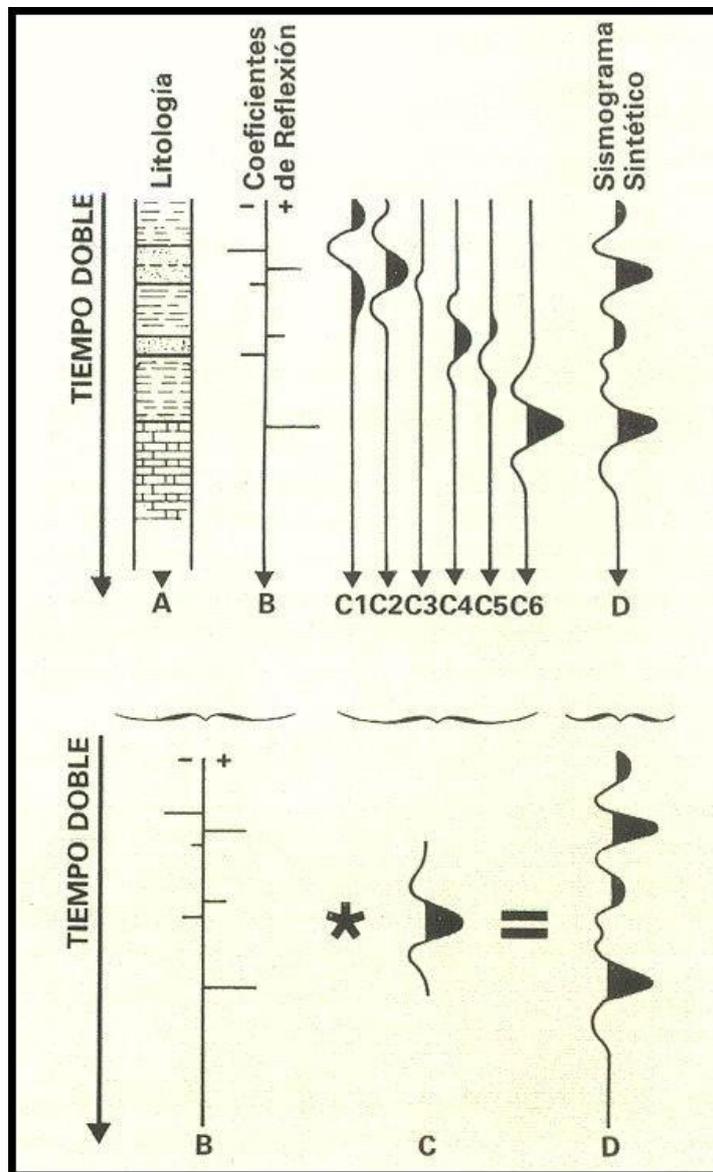
A los efectos de simplificar el análisis de la información geológica contenida en el dato sísmico, se asumirá que este resulta solamente de ondas  $P$  planas incidiendo y reflejándose verticalmente en interfaces horizontales y que la operación matemática "convolución" es capaz de sintetizar el "viaje" a través de la tierra de una ondícula que permanece invariante con el tiempo (Fig. 3.5).



### 3.2.1.- Ondas planas e incidencia.

La hipótesis de ondas planas implica considerar que las interfaces reflectoras están suficientemente lejos de la fuente como para considerar que el frente de ondas esféricos es casi plano (Telford *et al.*, 1976).

En el proceso de "convolución" (Fig. 3.6), "A" es la columna litológica y "B" la serie de coeficientes de reflexión correspondiente a cada cambio de impedancia acústica en "A". "C1" a "C5" muestran la ondícula "C" asociada a cada uno de los cinco coeficientes de reflexión considerados con su amplitud y signo correspondiente, es decir aquella onda compleja que partiendo de la fuente se refleja en ese contraste y regresa al receptor. Como es obvio, no es posible detectar estas ondículas individualmente. Los eventos simultáneos se interfieren dando origen al sismograma "D", que es la simple superposición (suma) de todos ellos (Griffths y King, 1971).



3.6.- Convolución

3.2.2.- Convolución

El sismograma registrado, conocido como "traza sísmica",  $T(t)$ , puede sintetizarse entonces mediante la convolución de los coeficientes de reflexión,  $R(t)$ , con la ondícula  $O(t)$ .

$$T(t) = R(t) * O(t)$$

Donde "t" es el tiempo empleado por la onda sísmica para recorrer el camino desde la fuente hasta las interfaces reflectoras y desde allí hasta el receptor. Cuando se hacen coincidir fuente y receptor en un plano de referencia sísmica común este tiempo se conoce como "tiempo doble" (Yilmaz, 2001).

Cuando se analiza una traza sísmica o un conjunto de ellas como en el caso de una sección sísmica, se estudian "eventos en escala de tiempo" y se pretende obtener como resultado "información del subsuelo en profundidad". Es precisamente aquí, al individualizar un evento sísmico cuando surgen los dos problemas básicos a los que se enfrenta el intérprete: ¿Se corresponde con un evento geológico? Y en tal caso, ¿Cuál es su posición en el espacio?, la figura 3.7 trata de ilustrar lo antes mencionado y se observa como un reflector sísmico se ubica en un espacio tridimensional.

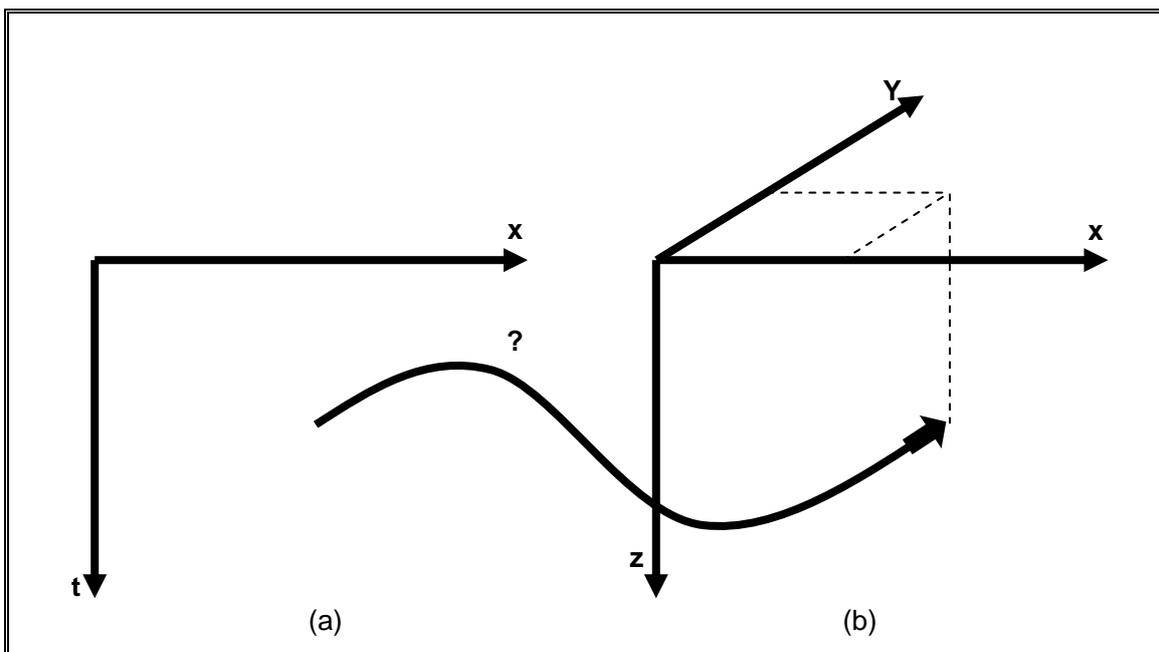


Fig. 3.7.- (a) Identificación de un reflector sísmico en tiempo. (b) Identificación del mismo reflector en profundidad como un horizonte el cual puede interpretarse y/o correlacionarse litológicamente.

En la teoría de los terremotos, las ondas compresionales o de dilatación se denominan: ondas *P* y las ondas transversales se denominan: ondas *S* pero también se propagan otro tipo de ondas de mayor longitud de onda, las cuales se denominan superficiales por que su propagación es por la superficie de la tierra.

Las ondas sísmicas, en su comportamiento, pueden compararse en muchos aspectos con las ondas luminosas, en el sentido de que son susceptibles de ser reflejadas y transmitidas (Sheriff y Geldart, 1995).

La exploración sísmica depende, fundamentalmente de la propagación de las ondas en medios elásticos, por lo que es necesario considerar las propiedades elásticas de los materiales, ya que de estas depende la propagación de tales ondas.

### **3.3.- Principios de elasticidad**

Los métodos sísmicos, suministran información acerca de las diferencias entre propiedades elásticas de las rocas. La velocidad sísmica depende de las constantes elásticas de las rocas. Sobre el comportamiento de las ondas sísmicas en el subsuelo en los que estas velocidades cambian. Estos cambios, de velocidad, corresponden a contactos geológicos. Está comprobado que toda la corteza terrestre es capaz de transmitir ondas elásticas si se presenta un mecanismo que las genere.

El conocimiento de ésta propiedad propició que se experimentara y estudiara la posibilidad de generar vibraciones artificiales y la detección de los movimientos ondulatorios, para determinar las características del subsuelo.

En términos generales se entiende por elasticidad, la propiedad que tienen algunos materiales sometidos a esfuerzos y deformaciones, de recuperar su forma original, dentro de ciertos límites, al desaparecer el efecto de los esfuerzos (Telford *et al.*, 1976).

Esfuerzo: fuerza por unidad de área

$$S = F/A$$

Si la fuerza está dirigida perpendicularmente al área se denomina presión o tracción. Según sea ejercida hacia el cuerpo o desde el cuerpo (Telford *et al.*, 1976).

Las deformaciones longitudinales pueden ser conservando volumen o variando el volumen.

$$\text{Deformación unitaria } (\varepsilon) = \frac{\text{Deformación total}}{\text{Longitud original}}$$

- ✓ Una tracción da origen a un alargamiento.
- ✓ Una presión da origen a un acortamiento.
- ✓ Un esfuerzo de cizalla da origen a una deformación por fractura.

Si la fuerza actúa paralela al área, se llama *esfuerzo de cizalla*

#### A) Módulo de Young ( $\xi$ ).

Mide la relación del esfuerzo (*stress*) – deformación (*strain*) en condiciones de tensión (elongación) o compresión (acortamiento)

$$\xi = \frac{F / A}{\Delta L / L} = \frac{FL}{A\Delta L} \left( \text{dinas} / \text{cm}^2 \quad \text{o} \quad \text{lb} / \text{in}^2 \right)$$

#### B) Relación de Poisson ( $\sigma$ )

Mide el cambio geométrico de la forma, o sea, la relación de los cambios fraccionales.

$$\sigma = \frac{\Delta M / M}{\Delta L / L}$$

Si un cuerpo se alarga por efecto de una tracción, este se acorta al mismo tiempo en la dirección perpendicular a la tracción  $P$ . Y también, cuando se acorta por efecto de una presión, se alarga en ángulo recto con la dirección de acortamiento (Sheriff y Geldart, 1995).

La relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal se denomina

**Relación de Poisson:**

$$\sigma = \frac{\varepsilon_T \text{ (deformación transversal)}}{\varepsilon_L \text{ (deformación longitudinal)}}$$

$\sigma$  nunca es mayor de 0.5. La mayoría de los sólidos elásticos tiene aproximadamente 0.25 de  $\sigma$ .

**C) Módulo de Rigidez o Cizalla ( $\eta$ ).**

Mide la relación del esfuerzo–deformación bajo condiciones de cizalla. La fuerza es tangencial al desplazamiento

$$\eta = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{FL}{A\Delta L} \text{ (dinas/cm}^2 \text{ o lb/in}^2\text{)}$$

En el caso de un esfuerzo cortante, la tensión es proporcional al esfuerzo, si la deformación es pequeña.

$$S = \mu \varepsilon_c$$

**C) Módulo Volumétrico ( $\kappa$ )**

Mide la relación del esfuerzo-deformación bajo una simple presión hidrostática.

$$k = \frac{F/A}{\Delta V/V} = \frac{FV}{A\Delta V} \text{ (dinas/cm}^2 \text{ o lb/in}^2\text{)}$$

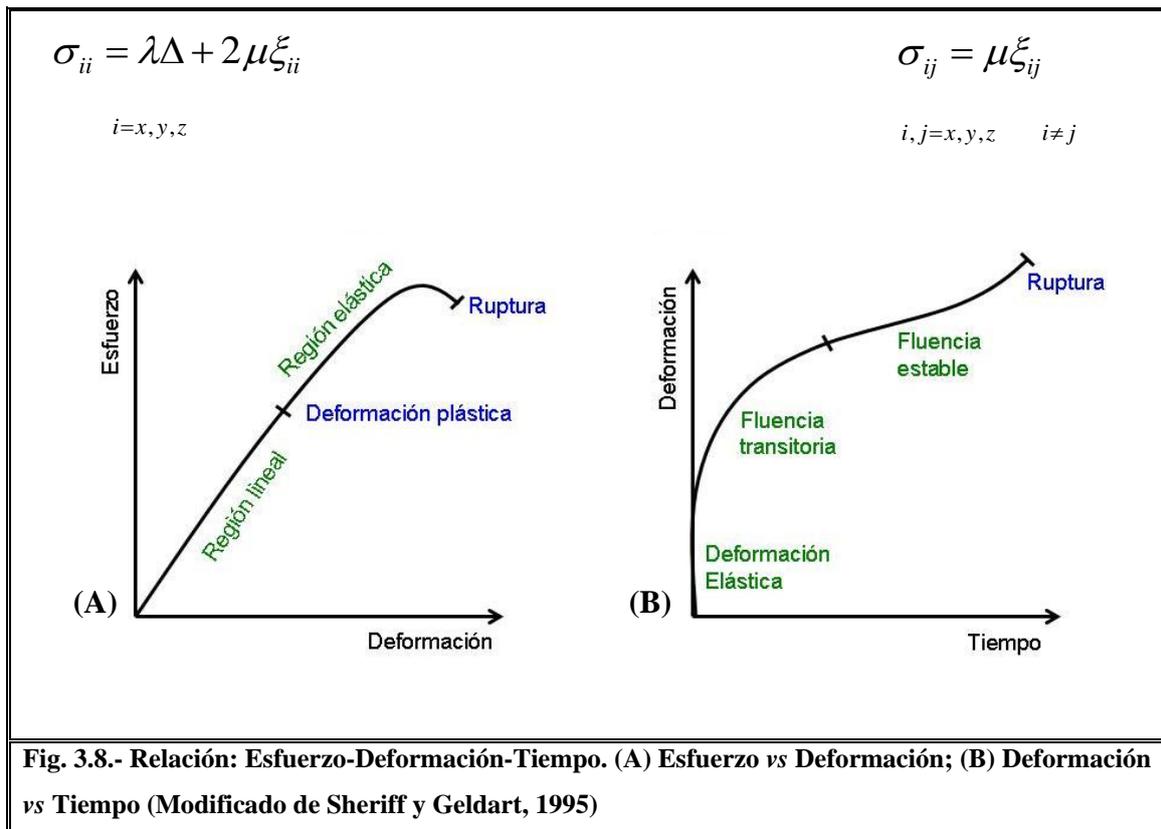
**E) Constantes de Lamé ( $\lambda$  y  $\mu$ ).**

$$\lambda = \frac{\sigma_{\xi}}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} = \kappa - \frac{2}{3}\eta \qquad \mu = \frac{\xi}{2(1+\sigma)} = \eta$$

Cuando existen varios esfuerzos, cada uno produce deformaciones independientes y la deformación total es la suma de las deformaciones producidas por los esfuerzos individuales (Sheriff y Geldart, 1995).

**Ley de Hooke**

Cuando el medio es isotrópico, o sea, las propiedades no dependen de la dirección, los esfuerzos están dados por (Fig. 3.8)



**3.4.- Tipos de Ondas Sísmicas**

Las ondas sísmicas son pulsos de energía de tensión que se propagan en un sólido (Yilmaz, 2001). Dos tipos de onda sísmica pueden existir:

**A) Onda P (Primaria, Longitudinal o Compresional)**

La transmisión del movimiento es por desplazamiento de las partículas en la dirección de propagación de la onda (Fig. 3.4).

- ✓ Las ondas *P* tienen la velocidad más alta.
- ✓ Experimenta cambios volumétricos.
- ✓ El sonido es un ejemplo de una onda *P*.

### **B) Onda S (Secundaria, Transversal, de Corte o Cizalla)**

La transmisión de la onda es en dirección perpendicular al desplazamiento de las partículas (Fig. 3.4).

- ✓ Si el movimiento de la partícula a lo largo de una línea en el plano perpendicular, entonces se dice que la onda S se polariza en SV en el plano vertical y SH en el horizontal.
- ✓ No experimenta cambio de volumen
- ✓ Las ondas S no pueden propagarse en los fluidos como el agua o en el aire, porque el fluido es incapaz de apoyar los esfuerzos cizallantes.

Ninguna tensión actúa en la superficie de la Tierra, y dos tipos de onda superficial pueden existir (Yilmaz, 2001).

### **A) Ondas Rayleigh**

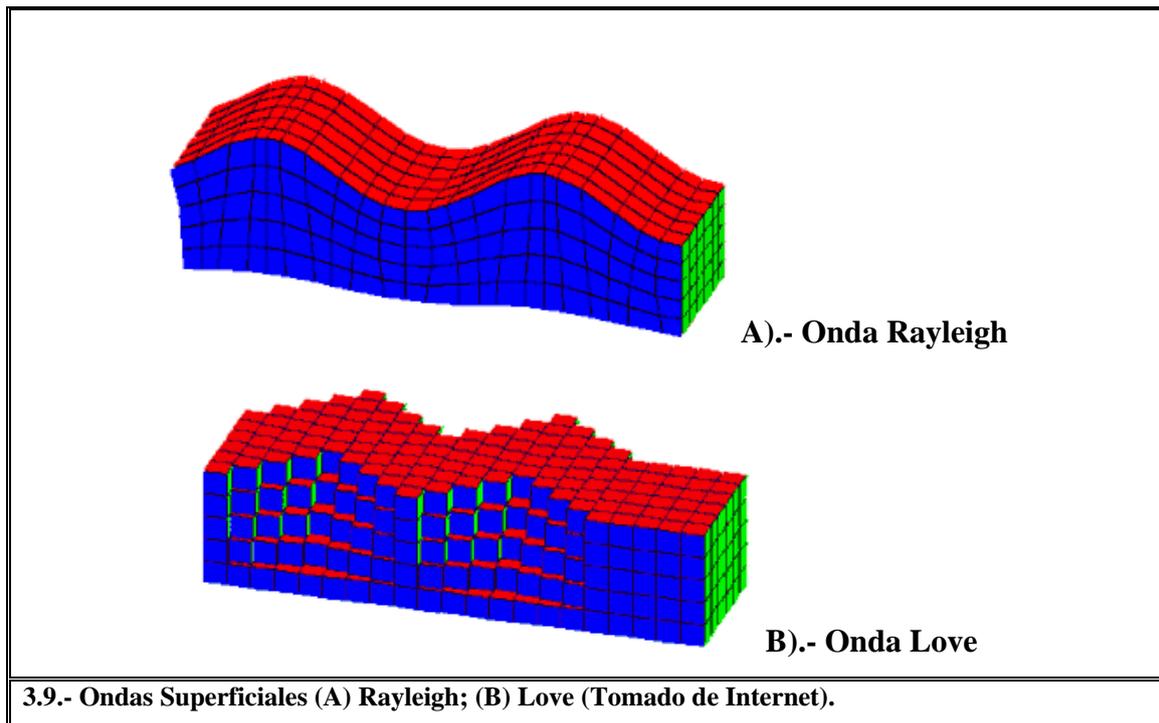
Transmisión con movimiento elíptico de retrógrado de las partículas (Fig. 3.9).

- ✓ Se propagan a lo largo de la superficie de la Tierra
- ✓ La amplitud disminuye exponencialmente con la profundidad.
- ✓ Cerca de la superficie el movimiento de la partícula es elíptico retrógrado.
- ✓ La velocidad de la onda Rayleigh es ligeramente menor que la de la onda S: ~92%.

### **B) Ondas Love**

Transmisión del movimiento en dirección transversal (paralela a las superficie y perpendicular a la dirección de propagación) (Fig. 3.9).

- ✓ El movimiento de la partícula es *SH*, es decir transversal horizontal
- ✓ Dispersión en la propagación: frecuencias diferentes viajan a velocidades diferentes, pero normalmente más rápidamente que las ondas Rayleigh.



La velocidad de las ondas sísmicas se relaciona con las propiedades elásticas de los materiales, es decir, que tan fácil es deformar la roca ante una tensión dada (Yilmaz, 2001).

**Velocidad de las ondas longitudinales ( $V_l$ ).**

$$V_l = \sqrt{\frac{k+4/3n}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \left( 1 + \frac{2\sigma^2}{1-\sigma-2\sigma^2} \right)}$$

**Velocidad de las ondas transversales ( $V_t$ )**

$$V_t = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \left( \frac{1}{2(1+\sigma)} \right)}$$

**Velocidad de las ondas superficiales ( $V_s$ )**

$$VR = 0.9194 \sqrt{\frac{\mu}{S}} = \sqrt{V_{L=0.9194V_L}}$$

**Relación de Velocidades:**

$$\frac{V_t}{V_l} = \sqrt{\frac{K}{n} + \frac{4}{3}} = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu} + 2} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{2-\sigma}} \approx \sqrt{3} = 1.732$$

En donde  $k$  es el módulo volumétrico,  $\lambda$  y  $\mu$  son las constantes de Lamé,  $\eta$  es el módulo de rigidez o cizalla y  $\sigma$  es la relación de Poisson. Cuando una onda  $P$  incide en una interfase a donde las propiedades elásticas cambian, se generan dos ondas reflejadas ( $P$  y  $S$ ) y dos ondas transmitidas ( $P$  y  $S$ ) (Yilmaz, 2001).

Ondas superficiales:

Ondas Love: se trata de movimientos transversales horizontales

Ondas Rayleigh: son movimientos verticales y paralelos a las transversales.

Las ondas superficiales no son utilizadas en la prospección sísmica; se hace entonces necesario su eliminación por medio de filtros y otros procedimientos.

**3.5.- Ley de Snell, principios de Huyghens y Fermat**

**3.5.1.- La Ley de Snell**

Los ángulos exactos de transmisión y reflexión se dan por:

$$\frac{\sin \phi_1}{V_{P1}} = \frac{\sin r}{V_{P2}} = \frac{\sin \phi_3}{V_{S1}} = \frac{\sin \phi_2}{V_{S2}} = p$$

Donde  $p$  es conocido como el parámetro de rayo,  $V_p$  es la velocidad de las ondas  $P$  para el medio 1 y 2 respectivamente así como  $V_s$  es la velocidad de las ondas  $S$  para el medio 1 y 2 respectivamente (Sheriff y Geldart, 1995).

Los ángulos de transmisión y reflexión de las ondas  $S$  son menores que de las ondas  $P$ .

Propagación de los movimientos ondulatorios:

La propagación de los movimientos ondulatorios se rige por dos principios fundamentales que son el principio de Huyghens y el principio de Fermat.

### 3.5.2.- El Principio de Huyghens

Todo punto de un frente de onda se comporta como un nuevo centro generador de ondas. Cada punto en un frente de onda puede ser considerado como una fuente secundaria de ondas esféricas, y la posición del frente de onda después de un tiempo dado, es la curva que une los frentes de onda secundarios (Fig. 3.10).

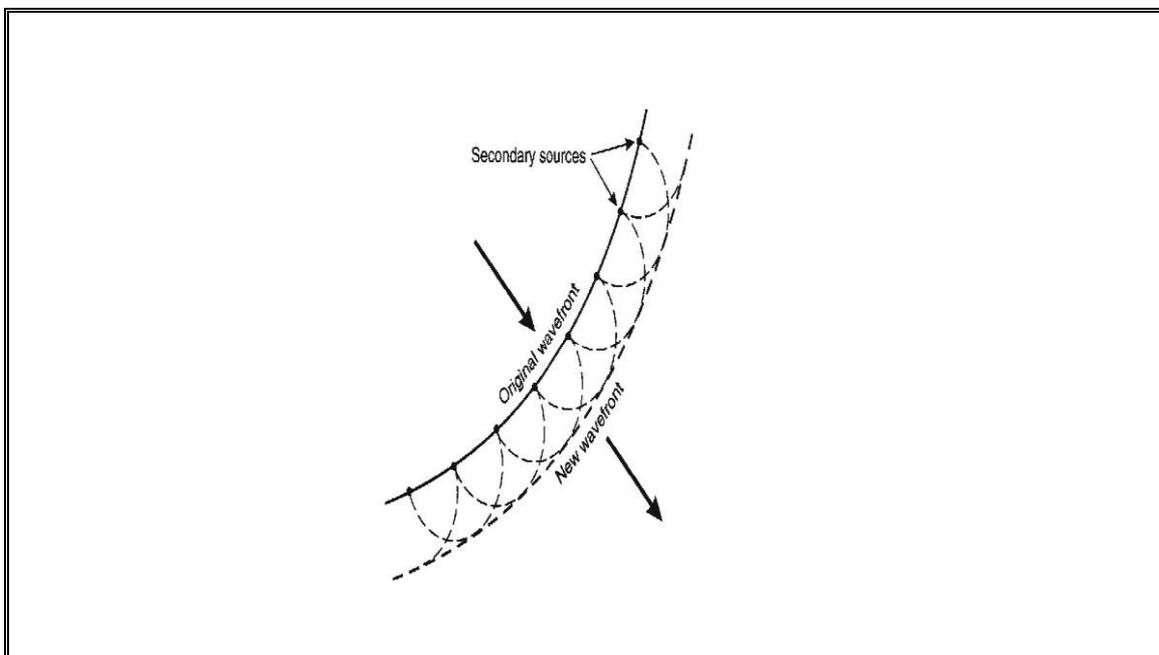


Fig. 3.10.- Principio de Huyghens (Frentes de Onda).

- ✓ Sin embargo, es a menudo más simple considerar la propagación de la onda por lo que se refiere a los rayos, aunque ellos no pueden explicar un poco de efectos como la difracción en las zonas de sombra.
- ✓ El Principio de Huygen y el de Fermat puede usarse para explicar la reflexión, refracción y difracción de ondas (Sheriff y Geldart, 1995).

### 3.5.3.- El Principio de Fermat

El movimiento ondulatorio entre dos puntos, sigue la trayectoria de tiempo mínimo o bien, toda onda se propaga de manera que el tiempo empleado en recorrer su trayectoria es mínimo (Telford *et al.*, 1976).

La amplitud de las ondas sísmicas está en función de la cantidad de energía que es transmitida al subsuelo .

#### **Densidad de Energía**

Es la energía por volumen unitario en las proximidades de un punto, y está dada por:

donde:  $\rho$  es la densidad,  $f$  es la frecuencia y  $A$  es la amplitud.

$$E = 2\pi^2 \rho f^2 A^2$$

#### **Intensidad de Energía**

Se define como la cantidad de energía que fluye a través de un área unitaria normal a la dirección de propagación de la onda en unidad de tiempo (Dobrin, 1976).

$$I = EV$$

donde:  $V$  es la velocidad

### **Amplitudes de las ondas sísmicas**

La amplitud incidente será la suma de las amplitudes reflejada y transmitida.

$$A_i = A_r + A_t$$

Las amplitudes de las ondas reflejadas y transmitidas varían con el ángulo de incidencia, dadas por las ecuaciones de Zoeppritz (Yilmaz, 2001).

Estos dos principios están íntimamente ligados al concepto de onda y trayectoria.

Se entiende por frente de onda, al lugar geométrico de todos los puntos que tiene el mismo estado de vibración o igual tiempo de viaje. La trayectoria indica la dirección y sentido de la propagación de un movimiento ondulatorio. La trayectoria de propagación es perpendicular al frente de ondas (Yilmaz, 2001).

En un medio homogéneo e isótropo, los frentes de onda consecutivos, a partir de un centro generador, son esféricos y concéntricos.

### **Comportamiento de un movimiento ondulatorio a partir del principio de Huyghens.**

En un medio homogéneo e isotrópico, los desplazamientos de una onda serán proporcionales al incremento de tiempo y a la velocidad del medio. Los nuevos frentes de onda serán paralelos.

En medios no homogéneos o anisótropos, los desplazamientos dependerán de la distribución de las velocidades.

Al variar las velocidades, los desplazamientos serán diferentes para iguales intervalos de tiempo, cambiando la forma de los frentes de onda subsecuentes y de las características de la trayectoria (Telford *et al.*, 1976).

Utilizando el principio de Huyghens se pueden construir los frentes de onda, para cualquier tipo de distribución de velocidad, lo cual es muy importante cuando se analizan medios no homogéneos y anisótropos.

De acuerdo al principio de Fermat, la trayectoria entre dos puntos no necesariamente es una línea recta, ello solo es posible en un medio homogéneo e isótropo. Para cualquier otro tipo de medio, la trayectoria seguirá por el camino de más alta velocidad, lo cual dependerá de la distribución de velocidad.

Lo anterior no significa que sólo exista la trayectoria de tiempo mínima, el movimiento ondulatorio que parte del punto A, puede llegar al punto B por varios caminos, pero el tiempo requerido dependerá de las variaciones de los medios que vaya atravesando. Pueden generarse varias trayectorias para el mismo movimiento, pero el primer indicio que se va a percibir en el punto B, será el correspondiente a la trayectoria de tiempo mínimo (Telford *et al.*, 1976).

La aplicación del principio de Fermat es muy útil para explicar casos en los cuales se reciben ondas elásticas en un punto, los cuales pudieran interpretarse como varios movimientos, pero que solo corresponden a diferentes trayectorias originadas en la misma fuente (Extracto del Método Sísmico, Universidad Central de Venezuela).

Cuando los movimientos se propagan en medios estratificados, las trayectorias sufren variaciones que pueden ser explicadas a partir de los principios de Huyghens y Fermat.

### **3.6.- Velocidad de ondas en el suelo y rocas**

Las características de propagación de un movimiento sísmico en el subsuelo sólo dependen de las propiedades elásticas de las rocas que regularán la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Lo único que se necesita para que se genere el movimiento sísmico es que en un espacio reducido se libere energía producida por un impacto de corta duración. En la prospección sísmica, el movimiento sísmico se provoca artificialmente mediante dispositivos donde se controla la energía liberada (Sheriff y Geldart, 1995).

Tomando en cuenta las diferentes constantes elásticas que pueden presentar los diferentes tipos de suelos y estructuras geológicas del subsuelo, la energía sísmica necesaria para tener información del subsuelo puede ser muy grande, cuanto más profunda sea la capa, mayor será la energía requerida, y conforme aumente el número de capas y la profundidad, la energía susceptible de regresar a la superficie disminuirá rápidamente.

### **3.7.- Sismodetectores (geófonos e hidrófonos)**

La parte fundamental de la instrumentación la constituyen los sismodetectores, los cuales transforman los movimientos sísmicos del suelo en una señal eléctrica de características de frecuencia y amplitud análogas a los de las ondas sísmicas que detectan. El resto del instrumental tiene como finalidad acondicionar la señal sísmica para que pueda ser manejada e interpretada.

La fidelidad con que el sismodetector reproduzca la señal sísmica, es básica, ya que el resto de los instrumentos no podrán reproducir lo que no se ha detectado, aunque en ocasiones, un instrumento mal ajustado puede generar señales que no corresponden a ondas sísmicas.

Existen diferentes tipos de detectores, en cuanto a su diseño y características de respuesta, aunque prácticamente se construyen con normas muy estrictas en cuanto a las características de la señal de salida, para que sean compatibles con todos los sismógrafos (Yilmaz, 2001).

Los sismodetectores pueden ser:

- ✓ Electromagnéticos
- ✓ Reluctancia variable
- ✓ Piezoeléctrico
- ✓ Capacitativo

Las señales eléctricas análogas al movimiento sísmico se conducen al sismógrafo por medio de cables o de radiotransmisores de frecuencia modulada.

### **Amplificadores**

Los amplificadores sísmicos son de diseños muy variados, pero todos ellos tienen como característica que son de ultra alta fidelidad a bajas frecuencias, ya que el rango de las señales de origen sísmico que normalmente se manejan se encuentra entre 2 y 200 Hz

Los amplificadores sísmicos pueden tener, capacidad de amplificación desde 8 veces (18 decibeles) hasta 2 millones de veces (126 decibeles). En la mayoría de los sismógrafos pueden operarse simultáneamente varios amplificadores, utilizando algunos elementos comunes, como fuente de poder, sistema de control, filtros, etc.

Cada amplificador recibe la señal de un sismodetector o combinación de sismodetectores conectados al mismo cable conductor, constituyendo lo que se conoce como un “canal de amplificación”.

Los sismógrafos más comunes pueden operar simultáneamente 1, 6, 8, 12, 24, 48, 96 y hasta más de 3000 canales (Yilmaz, 2001).

### **Sistema de medida y registro:**

Los sistemas de registro y medida generalmente se encuentran conectados en serie, y dependiendo de lo complejo del sistema, pueden operar simultáneamente varios sistemas de medida y de registro.

### **3.8.- Principios del método de refracción sísmica.**

Cuando las ondas sísmicas pasan de un medio a otro en el que se propagan con velocidades diferentes, sufren refracción. La ley de refracción es sencilla. Si el rayo incidente sobre el contacto o interfaz entre dos medios, forma un ángulo  $i_1$  con la normal a la interfaz, el rayo refractado en el medio adyacente formará un ángulo  $i_2$  tal que:

$$\text{sen } i_2 / \text{sen } i_1 = V_2 / V_1$$

Donde  $V_1$  y  $V_2$  son las velocidades sísmicas respectivas en los dos medios. Si  $V_2$  es mayor que  $V_1$  tendremos que  $\text{sen } i_2 > \text{sen } i_1$  y por lo tanto,  $i_2 > i_1$ . De este modo, el rayo refractado forma mayor ángulo con la normal, es decir, menor ángulo con la superficie que el rayo incidente (Sheriff y Geldart, 1995).

Si el ángulo del rayo incidente toma un valor particular  $i_c$ , tal que

$$\text{sen } i_c = V_1 / V_2$$

$\text{sen } i_2 = 1$  por lo que  $i_2 = 90^\circ$ . En este caso el rayo refractado viaja a lo largo del contacto y el ángulo de incidencia  $i_c$  se llama ángulo crítico.

Si se coloca una serie de geófonos sobre una línea recta, a partir del punto de tiro, el primer rayo que llega a los geófonos más próximos será el directo que viaja por la superficie, es decir,  $SG$ . Sin embargo, en los geófonos más distantes, el rayo que llega en primer lugar será el refractado, porque recorre en su camino con la mayor velocidad  $V_2$  y adelanta al rayo directo. Por consiguiente, si representamos gráficamente los tiempos de las primeras llegadas caerán sobre una recta y el resto sobre otra recta, cuyas pendientes se pondrán respectivamente de las velocidades  $V_1$  y  $V_2$ . Más correctamente, las pendientes respectivas de los segmentos son iguales a las inversas de las velocidades respectivas (Sheriff y Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

Una vez determinadas de este modo las velocidades, el espesor de la capa superior puede hallarse a partir del "punto de ruptura" en el que se cortan las dos líneas. Si es  $X_c$  la distancia de dicho punto al de tiro, puede demostrarse que el espesor viene dado por:

$$h = \frac{X_c}{2} \frac{V_2 - V_1}{\sqrt{V_2 + V_1}}$$

Donde  $h$  es el espesor de la capa,  $X_c$  es el punto de intersección entre pendientes,  $V_1$  es la velocidad promedio del medio 1 y  $V_2$  la velocidad promedio del medio 2.

### 3.9.- Principios del método de reflexión sísmica.

El principio del método de reflexión sísmica se ejemplificara de la siguiente manera: teniendo el sencillo caso de un solo horizonte reflector, un rayo que parte del tiro  $S$  se refleja en el punto  $R$  del contacto entre dos capas horizontales y llega al detector (geófono)  $G$ . Si es  $h$  el espesor del estrato superior y si el rayo llega a  $G$ ,  $t$  segundos después del tiro

$$t = \frac{2h}{V_1}$$

Donde  $V_1$  es la velocidad de las ondas sísmicas en la capa superior. La distancia tiro-detector (*offset*) ha de ser pequeña comparada con la profundidad del horizonte reflector, de modo que es admisible remplazar la longitud de la trayectoria real  $2SR$  por  $2h$  en la ecuación (Sheriff y Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

En la práctica se coloca una agrupación de geófonos a distancia relativamente corta del punto de tiro, y el hecho de que esta distancia sea corta asegura que las llegadas registradas por el grupo de geófonos sean debidas a rayos reflejados y no a rayos refractados. Cada interfaz con contraste de velocidad suficiente produce una señal de reflexión propia y como los geófonos están próximos entre sí, la señal llega a todos casi simultáneamente, produciendo en los sismogramas "alineaciones" características. Cada una de éstas corresponde a un horizonte reflector.

La reflexión del primer contacto llega después de transcurrido un tiempo ( $t_1$ ).

$$t_1 = \frac{2h_1}{V_1} \quad (1)$$

Mientras que la reflexión del segundo contacto llega en el instante (2).

$$t_2 = \frac{2 h_1}{V_1} + \frac{2 h_2}{V_2} \quad (2)$$

Si las velocidades  $V_1$  y  $V_2$  son conocidas, el espesor  $h_1$  puede calcularse en primer lugar, por medio de la ecuación (1) y sustituyendo el valor obtenido en la ecuación (2) se puede calcular  $h_2$ . Los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  se leen en el registro o sismograma. Estas ecuaciones pueden generalizarse de modo inmediato para cualquier número de contactos, pero es evidente que la velocidad de las ondas sísmicas debe determinarse por medio de observaciones independientes. Estas observaciones suelen efectuarse por el método de refracción (Sheriff y Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

Cuando el ángulo de incidencia es cero, las amplitudes de las ondas reflejadas y transmitidas se simplifican en las expresiones:

Coefficiente de la reflexión (1):

$$R = \frac{A_1}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

Coefficiente de la transmisión (2):

$$T = \frac{A_2}{A_0} = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

dónde la  $Z$  es la impedancia acústica (onda  $P$ ) de la capa, y está dada por  $Z=V\rho$ , dónde  $V$  es la velocidad de la onda y  $\rho$  la densidad. (las mismas ecuaciones aplican a las ondas  $S$  con incidencia normal) (Sheriff y Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

## 4.- Procesado de Datos

Dentro de la secuencia de prospección de sísmica de reflexión, una vez que se tiene la información sísmica adquirida, la siguiente etapa es el procesamiento de los datos obtenidos.

### ¿Qué es el Procesado de datos sísmológicos?

El procesado de datos sísmológicos, es una serie de actividades que permiten que el dato sísmico observado en el campo sea interpretable (Fig. 4.1), tanto en términos de imagen del subsuelo como de valores de amplitudes que permiten estimar propiedades petrofísicas de las rocas (Yilmaz, 2001).



El procesado de datos sísmicos tiene como objetivo principal, mejorar la relación señal/ruido de la información sísmica adquirida en el campo y proporcionar imágenes de calidad para su interpretación en relación con eventos geológicos posibles del área prospectada (Sheriff y Geldart, 1995).

El procesado de datos sísmicos, dentro del proceso exploratorio ha tomado un papel preponderante debido a las exigencias actuales en cuanto a que se requiere contar con información sismológica que garantice que se preserven las propiedades físicas de la señal de origen con relación a la geología, por tal motivo es necesario contar con datos sísmicos procesados como los observados en la figura 4.2 dentro de los estándares que requiere el dato sísmico.

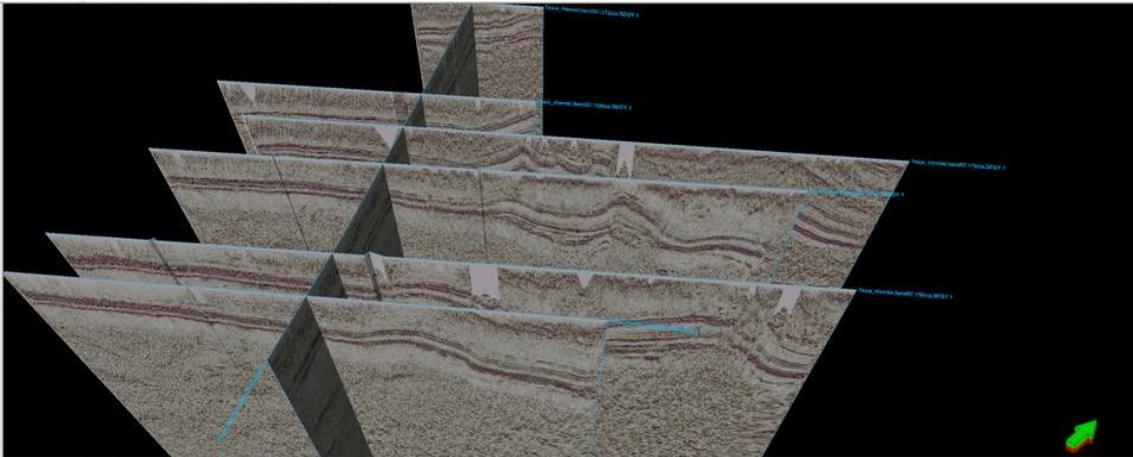


Fig. 4.2.- Intersección de un conjunto de líneas procesadas.

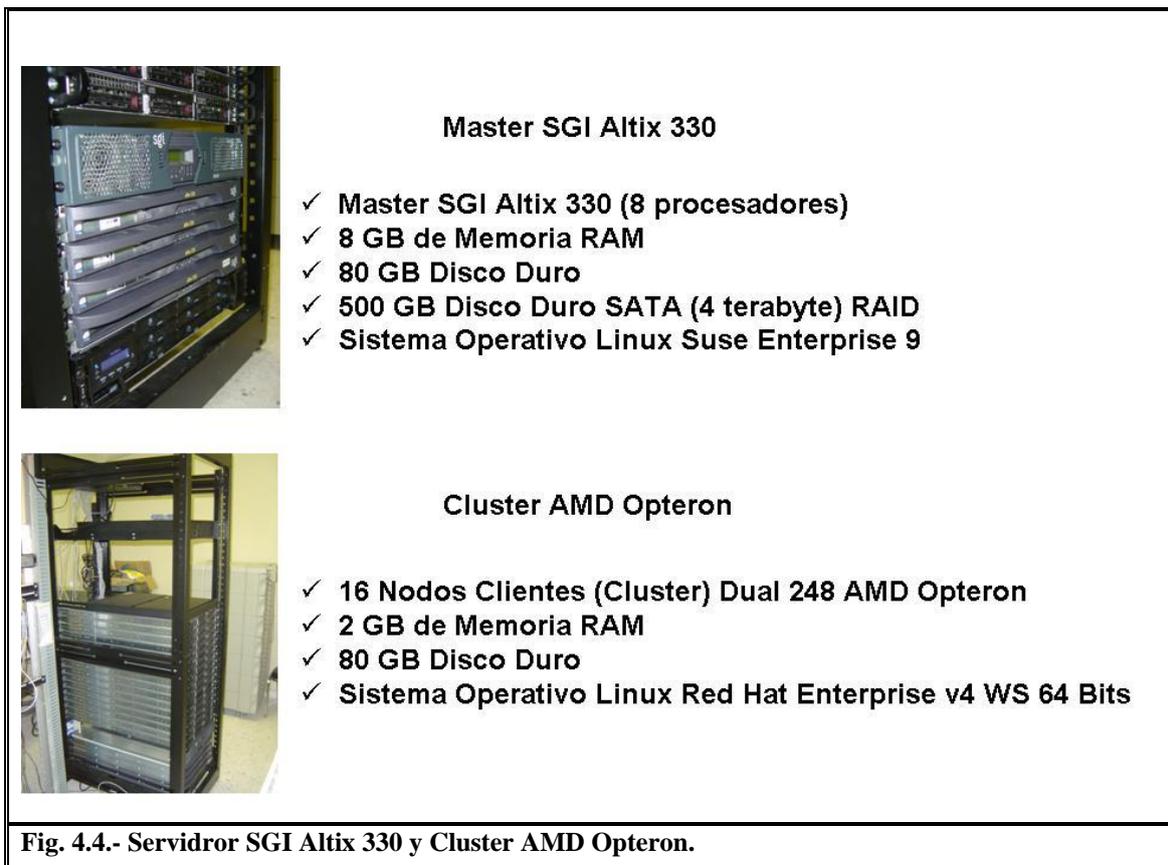
Los datos sísmicos necesarios para realizar este estudio fueron proporcionados por Petróleos Mexicanos. El reproceso de dicha información se llevó a cabo en el centro de procesado sísmico de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Fig. 4.3).



Fig. 4.3.- Centro de Procesado Sísmico de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U.A.N.L.

#### 4.1.- Centro de Procesado Sismológico (CPS).

En el centro de proceso se cuenta con el software SeisUp desarrollado por la compañía Geocenter, SeisUp es soportado por un servidor SGI Altix 330 con 8 procesadores, 8 GB de Memoria RAM, 80 GB disco duro para el sistema operativo, 500 GB disco duro SATA y 4 Terabytes para almacenamiento de datos RAID; Sistema operativo Linux Suse Enterprise versión 9, memoria compartida y distribuida, en este caso el equipo que soporta al software es un arreglo tipo cluster donde se conectan una serie de procesadores en paralelo para hacer eficiente el uso de cada uno de los recursos. Se tiene un cluster de 16 nodos en paralelo (para ejecutar procesos que requieren mayor capacidad como la Migración Pre-Apilamiento en Tiempo, etc.), cada uno conformado por una unidad dual 248 AMD Opteron, 2 Gb de Memoria RAM, 80 Gb Disco Duro, sistema operativo Linux Red Hat, Enterprise 4 WS 64 Bits, ya que los algoritmos y cálculos que se realizan son procesos que requieren mucha capacidad de cómputo (Fig. 4.4).



Se cuenta con 9 estaciones de trabajo supermicro AMD Opteron, 4 GB de Memoria, 80 GB Disco Duro SATA, con sistema operativo Linux Red Hat Enterprise 4 WS 64 Bits, cada estación cuenta con dos monitores View Sonic resolución de 1600 x 1200 en los cuales se pueden visualizar las líneas sísmicas a mayor detalle y todo el procesado; todo esto se interconecta con el Server SGI Altix a través de la red Gigabit Ethernet (Fig. 4.5).



La capacidad de Procesamiento que se tiene en el CPS se muestra en la figura 4.6.



### **Características principales del software de procesamiento:**

SeisUp es un paquete de procesamiento de la compañía GeoCenter, de ambiente gráfico y amigable desarrollado en lenguaje de programación C++ y Fortran, para plataforma Unix o Linux, sus características principales son las siguientes:

- ✓ Ambientes de Operación
- ✓ Unix, Linux, Mac OS X y Windows
- ✓ Capacidad de procesamiento simultaneo interactivo y por colas
- ✓ Capacidad de proceso de disco a disco y/o cinta
- ✓ Implementación de los flujos en forma gráfica, mostrando un historial de procesamiento
- ✓ Manejo de datos en forma multidimensional con formato de hojas de cálculo
- ✓ Manejo de menús e iconos a nivel de dispositivo de entrada “ratón”
- ✓ Paquetería de graficación con formato CGM
- ✓ Sistema de administración de cintas para grandes volúmenes
- ✓ Capacidad de súper computo escalable para sistemas de memoria distribuida y/o compartida
- ✓ Interfase gráfica a nivel de usuario en Windows y Java
- ✓ Manejo en ambiente amigable

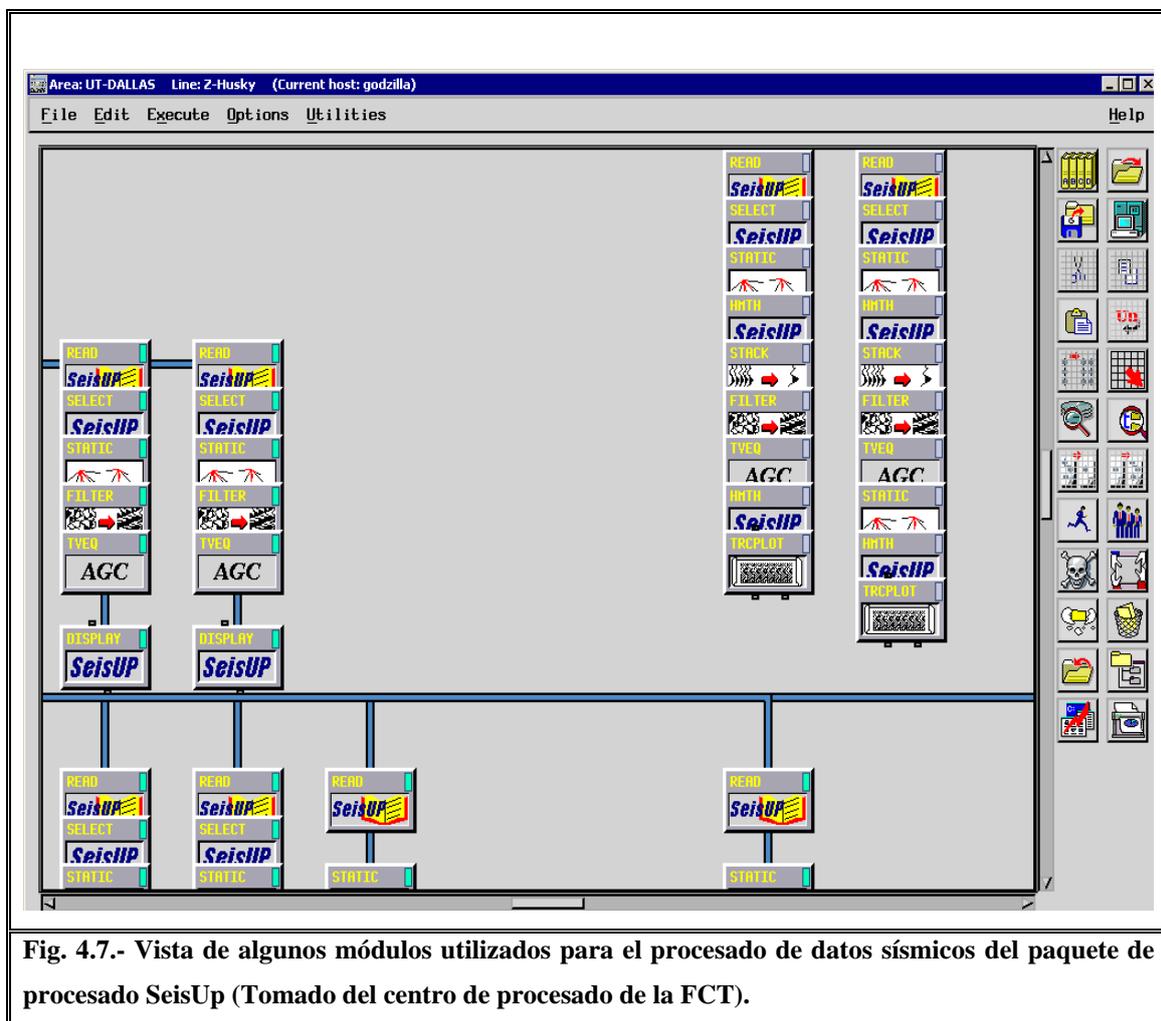
### **Servicios que ofrece el CPS:**

- ✓ Migración preapilamiento en tiempo, 2D y 3D
- ✓ Migración postapilamiento en tiempo, 2D y 3D
- ✓ Procesado de amplitud contra distancia (AVO) y contra el ángulo (AVA)
- ✓ Obtención de atributos sísmicos
- ✓ Procesamiento por ondícula
- ✓ Preparación de datos sísmicos con preservación de amplitudes y fase cero
- ✓ Análisis de factibilidad
- ✓ Transferencia de información sísmica en red o por medios magnéticos
- ✓ Visualización tridimensional

**Productos que ofrece el CPS:**

- ✓ Imágenes migradas en tiempo
- ✓ Cubo de imágenes migradas en tiempo
- ✓ Imágenes en tiempo de atributos sísmicos en AVO
- ✓ Modelo de velocidades en tiempo

En la figura 4.7 se muestra una pantalla dentro de la cual se puede apreciar el entorno gráfico de SeisUp y algunos módulos utilizados en el procesado de datos.



**Fig. 4.7.- Vista de algunos módulos utilizados para el procesado de datos sísmicos del paquete de procesado SeisUp (Tomado del centro de procesado de la FCT).**

Las líneas que se reprocessaron fueron en 2D el diagrama de flujo siguiente muestra los pasos básicos a seguir en este tipo de estudios (Fig. 4.8).

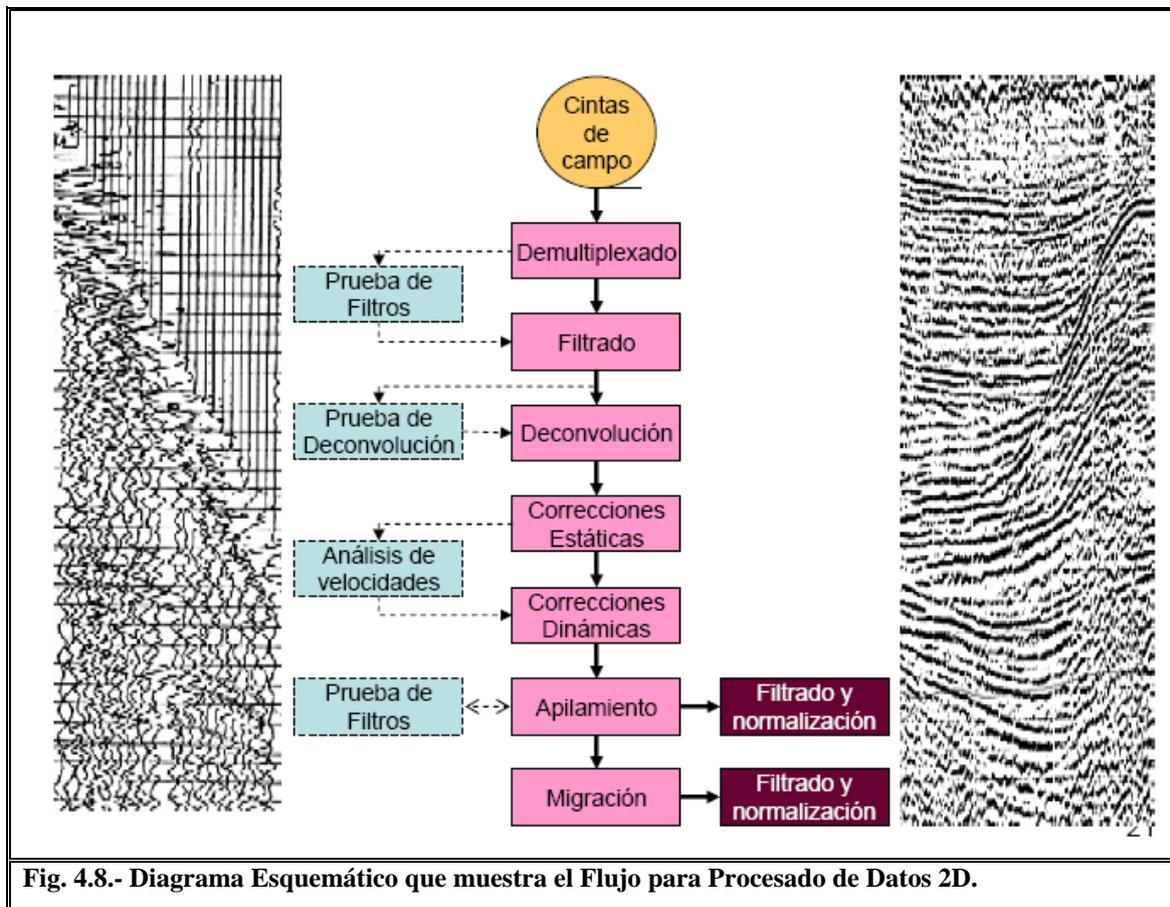


Fig. 4.8.- Diagrama Esquemático que muestra el Flujo para Procesado de Datos 2D.

**Procesos de correcciones de carácter obligatorio a datos 2D (Yilmaz, 2001).**

- ✓ Arreglos Geométricos
- ✓ Corrección por Divergencia Esférica
- ✓ Correcciones Estáticas
- ✓ Correcciones Dinámicas NMO
- ✓ Apilamiento
- ✓ Migración

**Procesos de mejoramiento de la relación señal a ruido (Yilmaz, 2001).**

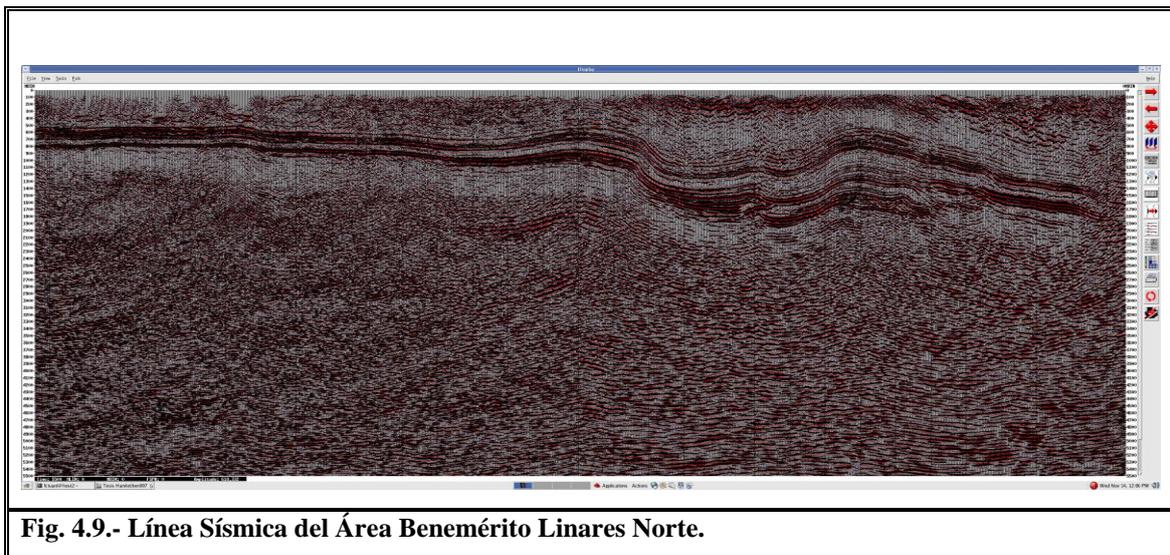
- ✓ Atenuación de Ruidos
- ✓ Atenuación de Múltiples
- ✓ Deconvolución

Para la aplicación de la secuencia de proceso es necesario primero que nada hacer un análisis de los datos e implementar una secuencia de proceso adecuada a las necesidades de los datos a procesar.

#### 4.2.- La sección sísmica

Es un diagrama en tiempo doble de reflexión de las ondas sonoras llevado en relación con la distancia a lo largo de la superficie terrestre donde la información sísmica es grabada (Yilmaz, 2001).

La sección sísmica es por lo tanto una sección que atraviesa la superficie terrestre y se parece mucho a un corte geológico. Son casi siempre llevadas en función del tiempo doble y no en función de la profundidad, el cual parecería ser una mejor representación de los acontecimientos en profundidad (Fig. 4.9).



#### 4.3.- Objetivos del tratamiento de datos

Las grabaciones sísmicas reales solo contienen, desafortunadamente, simples reflexiones en tiempo doble. Estas grabaciones contienen una cantidad importante de información que se puede considerar como ruido, el cual interfiere con las reflexiones que nos interesan. Además se producen desviaciones y perturbaciones de las trayectorias de los rayos sísmicos (Telford *et al.*, 1976).

Los objetivos principales del procesado de datos pueden ser entonces clasificados como sigue:

#### 4.3.1.- Mejora de la relación señal/ruido

La señal se define como la energía útil adquirida durante un estudio sísmico. Se trata habitualmente de una energía de ondas de compresión (ondas *P*).

El ruido se define como la energía indeseable, existen numerosos tipos de ruidos (Fig. 4.10) en el medio ambiente sísmico (Sheriff y Geldart, 1995), por ejemplo:

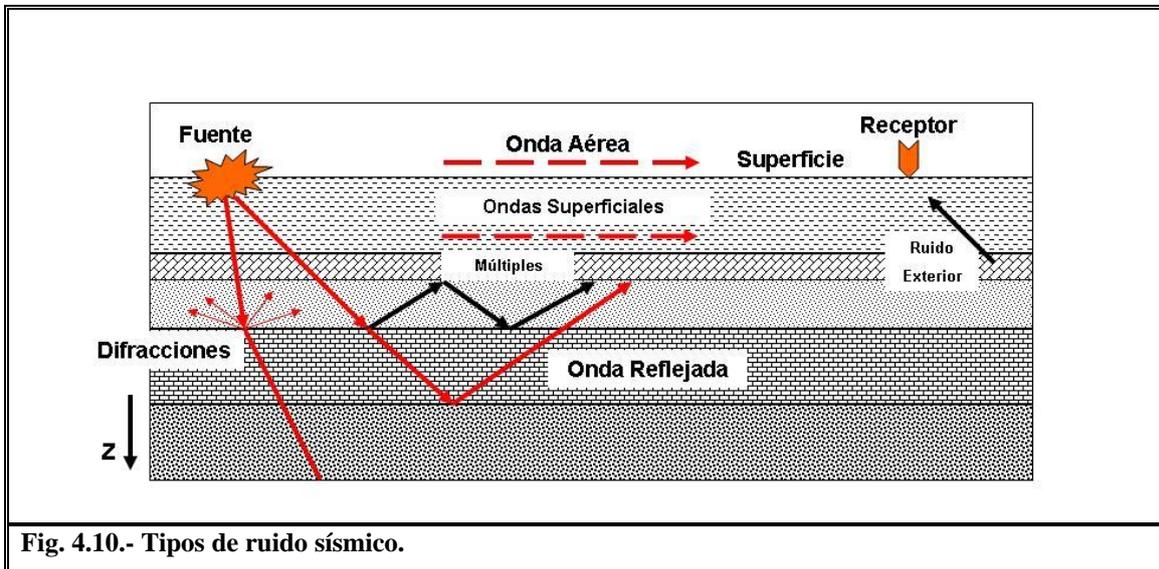


Fig. 4.10.- Tipos de ruido sísmico.

En la figura podemos apreciar diferentes tipos de ruido como lo son el ruido exterior, difracciones, múltiples, onda aérea y el *ground roll* también conocido como onda guiada u ondas superficiales (Sheriff y Geldart, 1995).

Uno de los principales objetivos de la adquisición de datos sísmicos (Fig. 4.11) y del procesado, es producir una sección sísmica que tenga un nivel de señal lo más alto posible y un nivel de ruido lo más bajo posible.

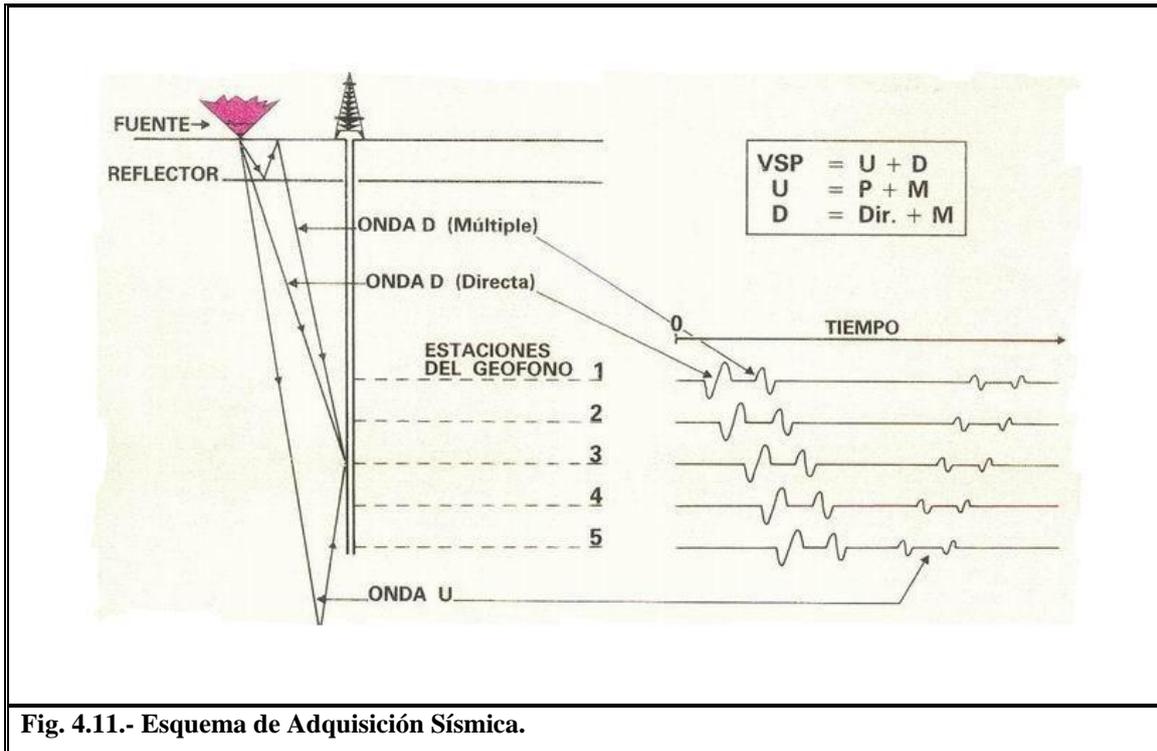


Fig. 4.11.- Esquema de Adquisición Sísmica.

#### 4.3.2.- Precisión del tiempo de reflexión y de posición.

La sección sísmica final debe de ser una representación tan fiel como sea posible de la estructura geológica en profundidad, lo cual significa que el tiempo doble de reflexión y la posición en el espacio de cada punto reflejado deben ser tan precisos como sea posible.

Se deben efectuar varias correcciones al tiempo y a la posición espacial de los acontecimientos reflejados de manera que sean colocados en su posición real en profundidad. Las correcciones estáticas, dinámicas y migración son ejemplos de estos procesos (Yilmaz, 2001).

#### 4.3.3.- La más alta resolución posible.

Medidas directas y continuas hechas en las exploraciones permiten obtener una alta resolución vertical que permite la identificación de horizontes de solamente algunos centímetros de espesor. Sin embargo las exploraciones son muchas veces distantes de varios kilómetros y la resolución horizontal es por lo tanto muy pobre.

La resolución vertical depende del periodo de la ondícula sísmica reflejada (Fig. 4.12).

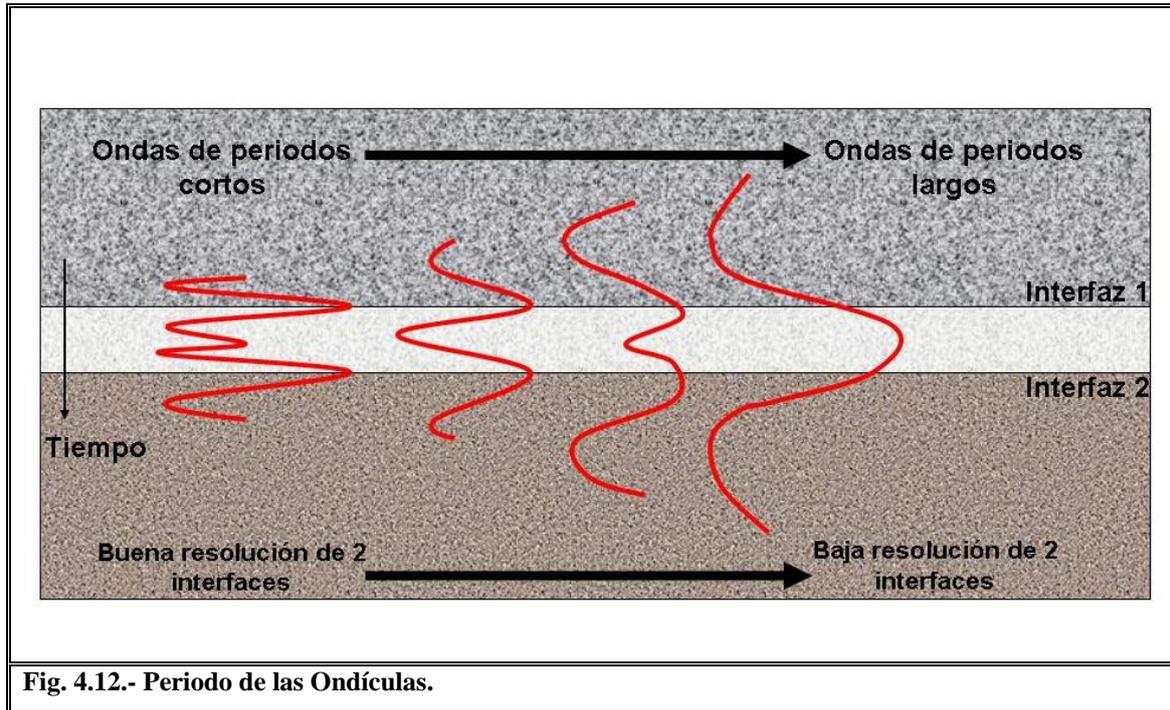


Fig. 4.12.- Periodo de las Ondículas.

Para obtener periodos tan cortos como sea posible durante el tratamiento, el contenido en frecuencia de la ondícula debe ser tan ancho como sea posible. Procesos como la deconvolución son utilizados para optimizar la forma de la ondícula y en consecuencia la resolución (Yilmaz, 2001).

#### 4.3.4.- Extracción de otras propiedades de subsuelo.

Aparte del tiempo de reflexión y de la posición de los horizontes reflejantes, existen varias propiedades de las rocas del subsuelo que pueden ser extraídas de los datos sísmicos:

- ✓ **Amplitudes:** Es posible observar el detalle de las diferencias de amplitud de las reflexiones y producir una sección sísmica que suministre indicadores sobre la presencia de hidrocarburos.
- ✓ **Velocidades:** Los detalles de las velocidades sísmicas de las diferentes capas del subsuelo pueden ser extraídos de los datos sísmicos.

- ✓ **Contenido en frecuencia:** Se puede analizar el cambio del contenido en frecuencia de la ondícula sísmica durante su trayecto en el subsuelo (Yilmaz, 2001).

Ahora hablaremos un poco de los procesos aplicados a las líneas que se tuvieron que reprocesar.

Es importante mencionar que el procesado de las líneas se inicio desde cero, esto es desde los tiros de campo, aplicando así toda la secuencia de proceso hasta llegar al resultado final que fue la Migración Pre-Apilamiento en Tiempo (PSTM).

Las líneas procesadas fueron seis:

- ✓ **Línea Benemérito-Linares 154**
- ✓ **Línea Benemérito-Linares 156**
- ✓ **Línea Benemérito-Linares 158**
- ✓ **Línea Benemérito-Linares 172**
- ✓ **Línea Benemérito-Linares 178**
- ✓ **Línea Benemérito-Linares 097** (Incompleta por falta de datos)

A continuación se describen brevemente los principales pasos que se siguieron en la secuencia de procesado y que fue utilizada para todas las líneas.

Las figuras que se muestran a continuación fueron tomadas de la línea sísmica 158 la cual fue procesada para este trabajo y muestra las etapas más importantes dentro del procesado para esta línea, cabe mencionar que la misma secuencia de proceso fue usada para el resto de las líneas sísmicas procesadas.

La figura 4.13 describe la secuencia de procesado sísmico utilizada en este trabajo.

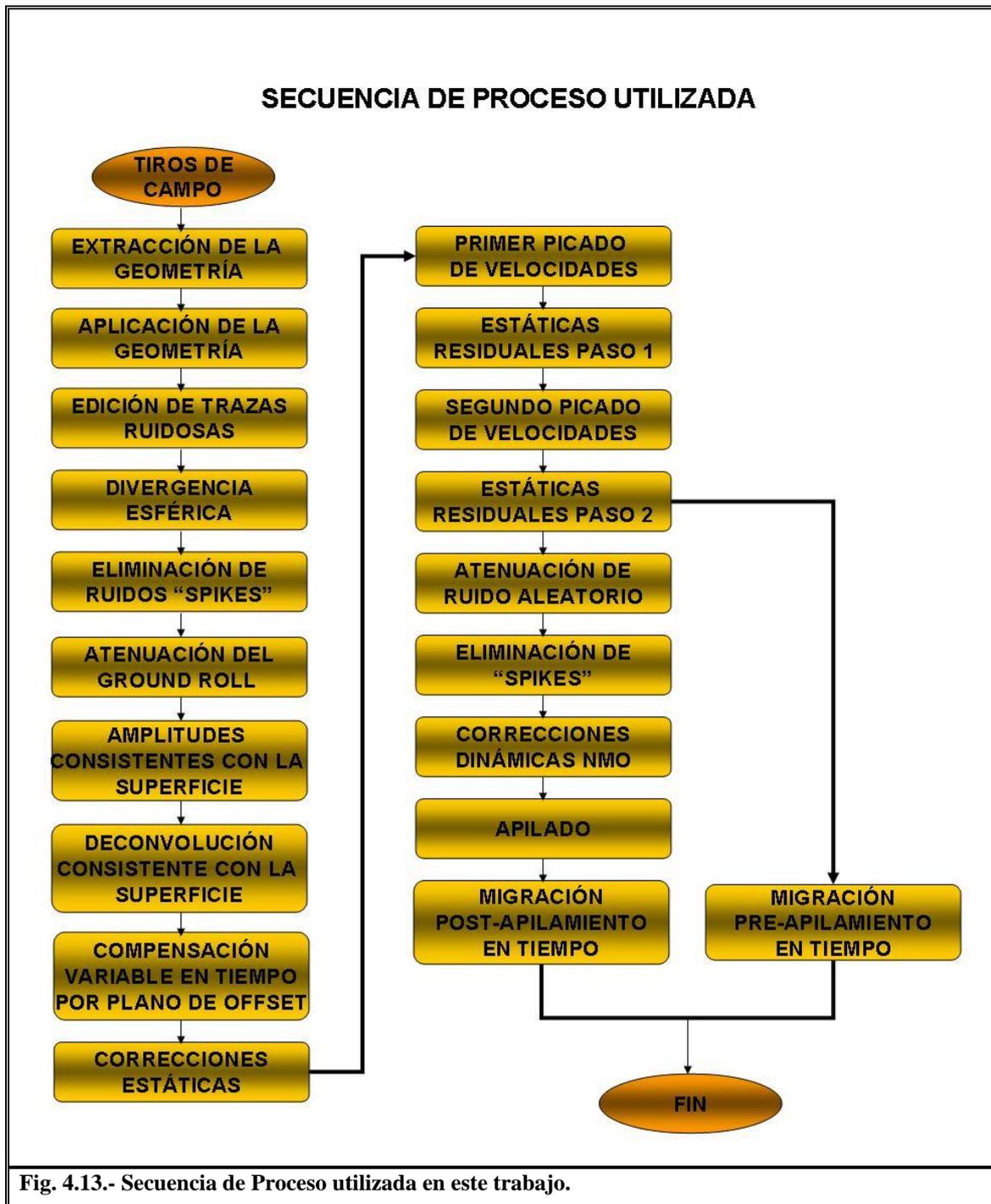


Fig. 4.13.- Secuencia de Proceso utilizada en este trabajo.

En la figura se observan a grandes rasgos los pasos mas importantes dentro de la secuencia de proceso aplicada, como se ha mencionado la secuencia de proceso fue la misma para todas las líneas, cambiando solo algunos parámetros dentro de la secuencia de trabajo esto con el fin de adecuar mejor cada línea ya que aunque están en una misma área la información siempre tendrá variaciones que serán necesarias corregir de diferentes maneras.

#### 4.4.- Arreglos geométricos

Durante la adquisición de los datos sísmicos en el trabajo de campo cada una de las líneas sísmicas, sigue un patrón preestablecido para los parámetros de adquisición, dichos parámetros constan que cada punto observado en superficie contenga información numérica de coordenadas UTM, elevaciones topográficas, número de fuente, número de receptores, etc. (Yilmaz, 2001).

Una vez cargada la información de campo, se procede a extraer la geometría de los encabezados de la cinta para generar los archivos de las fuentes, estaciones y patrones de adquisición.

El siguiente paso es recrear la geometría y unirla a los datos dentro del sistema. La geometría es una representación de cómo receptores y fuentes fueron colocados relativamente en el campo durante la adquisición de los datos como se muestra en la figura 4.14.

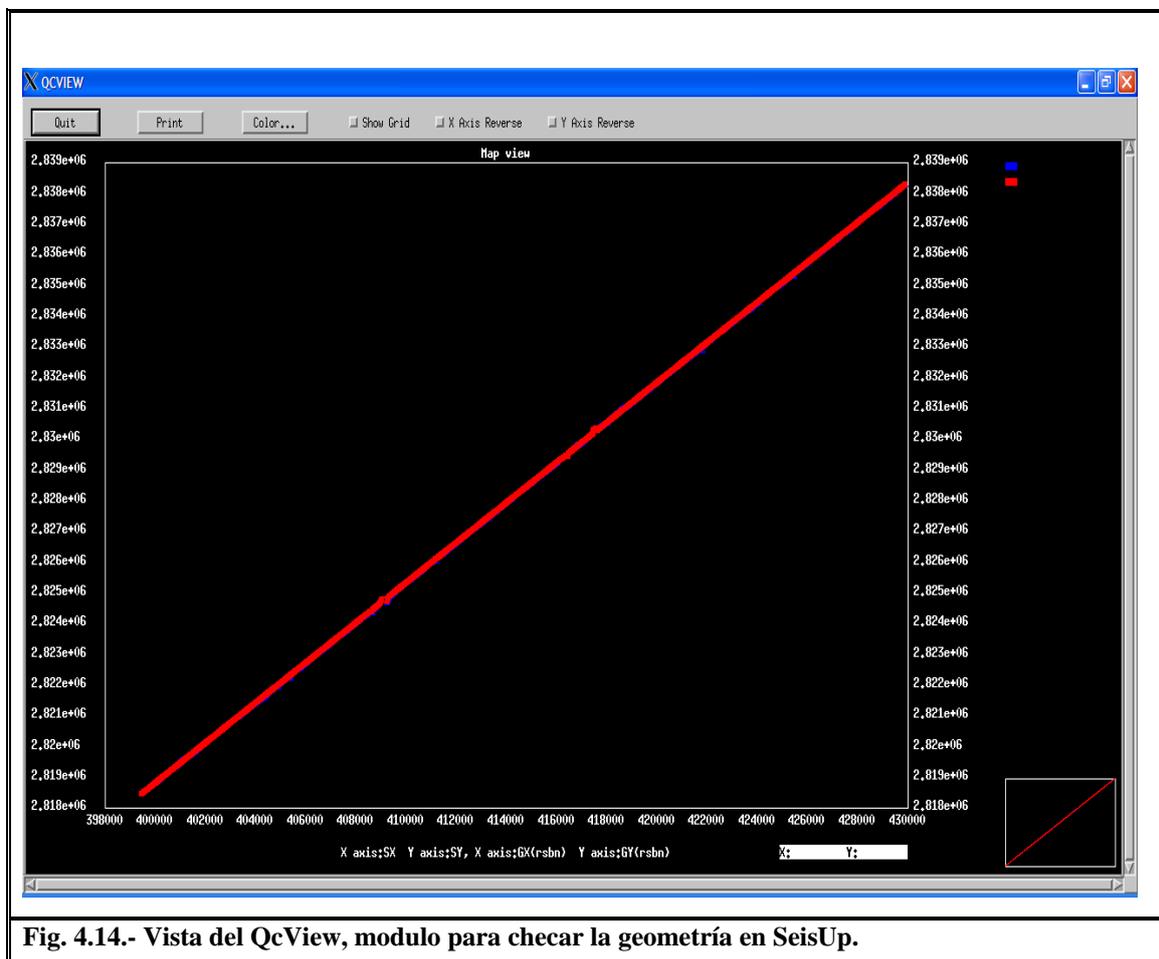


Fig. 4.14.- Vista del QcView, modulo para checar la geometría en SeisUp.

Se utilizan diferentes tipos de configuraciones y de receptores según las condiciones ambientales del lugar y de las características de los objetivos geológicos. Una buena adquisición de datos es una parte fundamental dentro del procesado ya que a mejor calidad de datos mejores resultados se pueden obtener en el procesado de los mismos.

Otra forma de checar la geometría es llevando los tiros a la horizontal como se muestra en la figura 4.15 y observar las anomalías entre ellos así como asegurarse de que la bandera roja no este movida de su lugar.

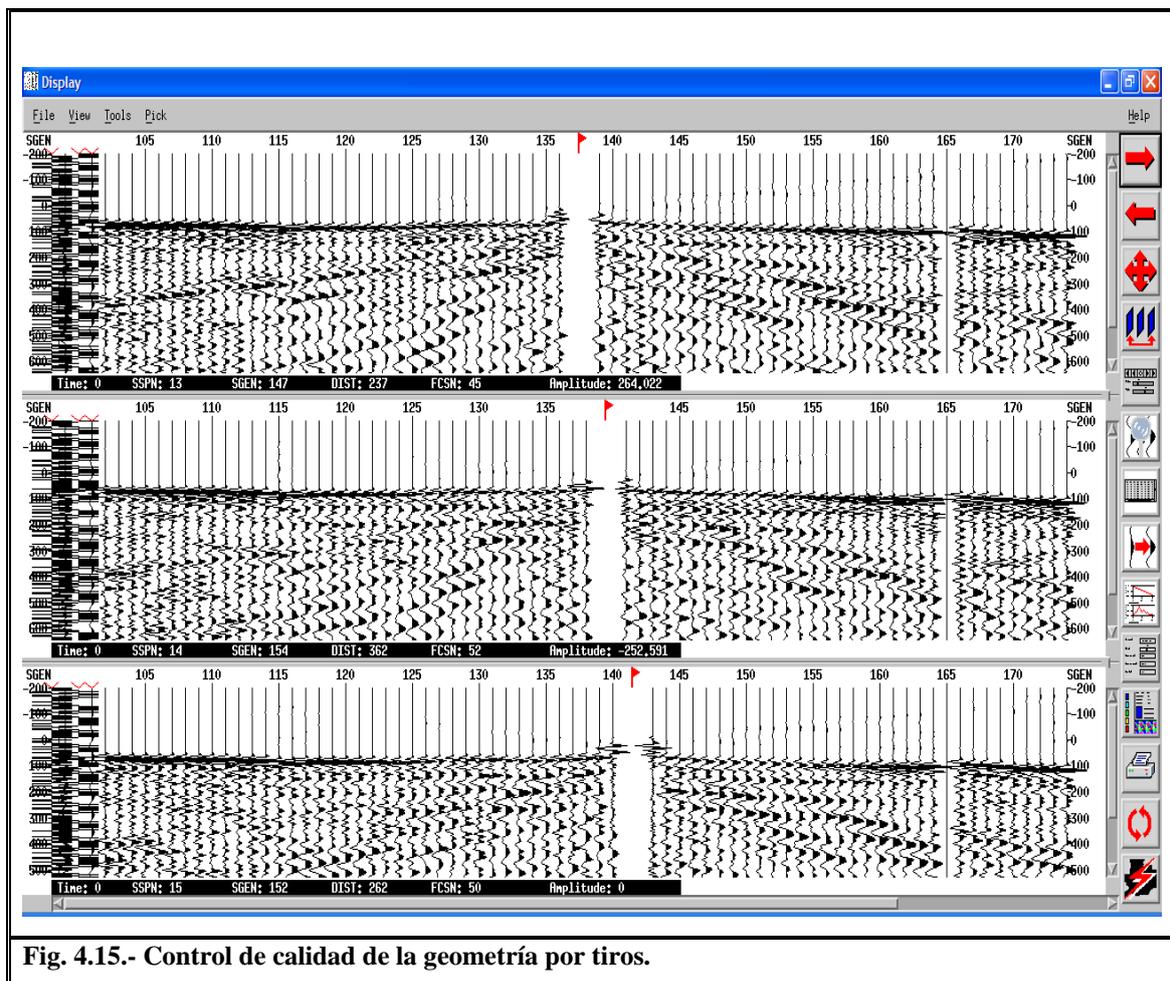


Fig. 4.15.- Control de calidad de la geometría por tiros.

La desventaja de este método en particular radica en que se tiene que revisar tiro por tiro para detectar que no existan anomalías y a su vez traza por traza lo cual se vuelve una tarea bastante tediosa y pesada pero necesaria en algunos casos.

Para hacer un poco mas óptimo este proceso se grafican tres tiros en una sola pantalla y se revisan simultáneamente.

#### 4.5.- Corrección por divergencia esférica

La propagación de los frentes de onda a través de los diferentes estratos de las capas de rocas en el subsuelo sufre pérdida de energía, por tal motivo a mayor profundidad la señal transmitida presenta menor amplitud. Por tal motivo dentro de la secuencia de procesado sísmico se efectúa esta compensación de pérdida de la amplitud con la profundidad (Sheriff y Geldart, 1995).

En la figura 4.16 se observa un tiro sin la divergencia esférica del lado izquierdo y a su derecha el mismo tiro ya con el proceso aplicado.

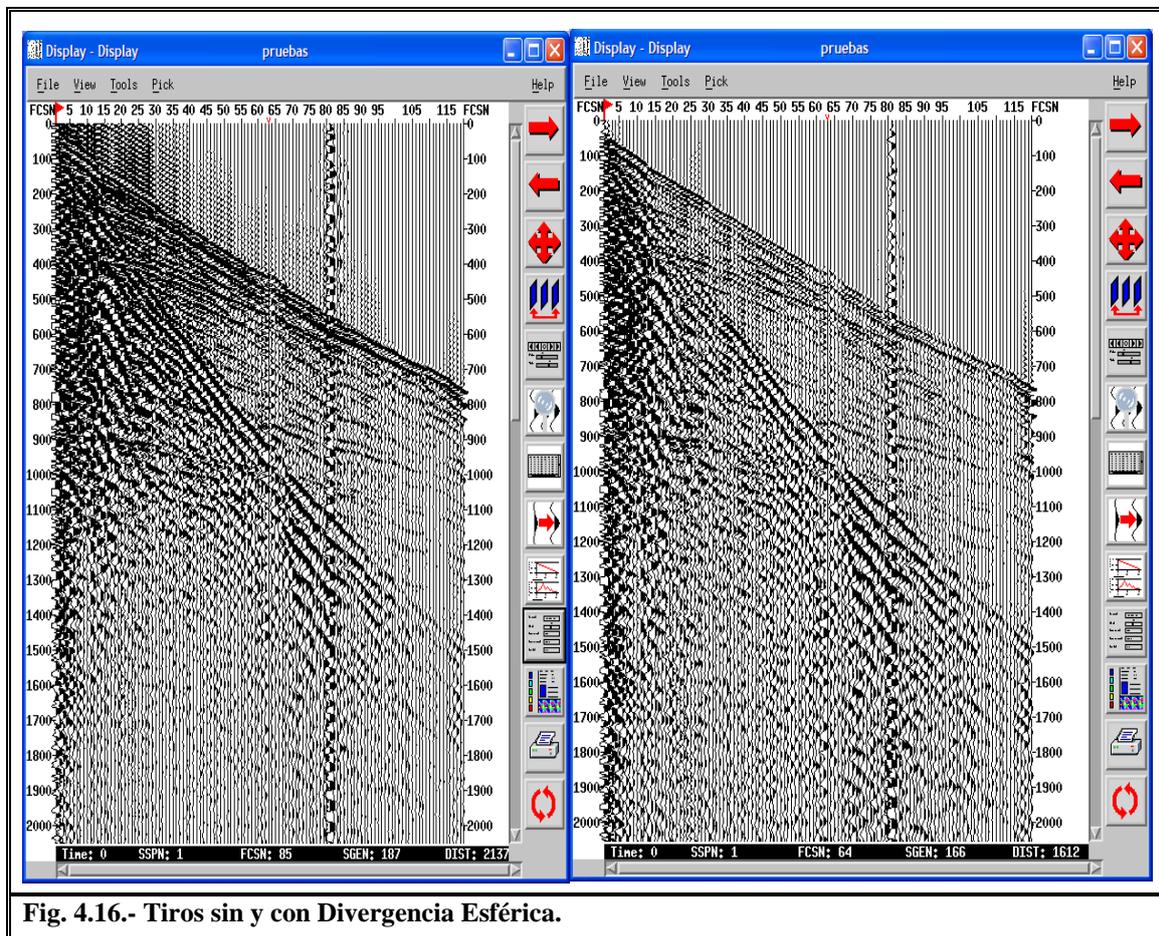


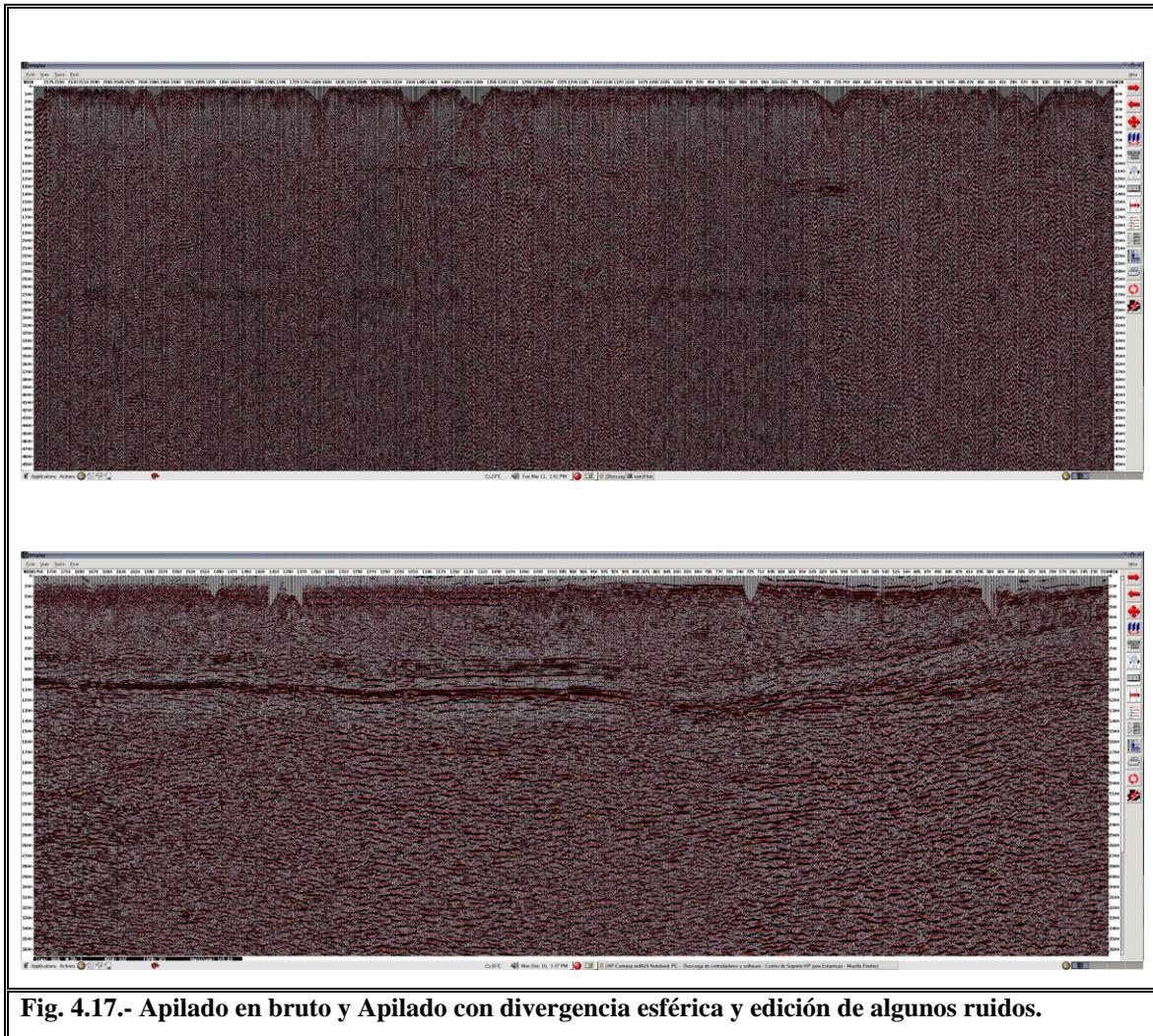
Fig. 4.16.- Tiros sin y con Divergencia Esférica.

Otros mecanismos por los cuales una onda sísmica pierde amplitud, son la reflexión y transmisión en una interfase, por absorción y por acoplamiento del receptor con la superficie de colocación.

#### 4.6.- Atenuación de Ruidos

La calidad de los registros sísmicos depende del área de estudio, la señal sísmica, es todo evento de un registro sísmico que puede proporcionar información, por lo tanto ruido es el caso contrario e incluye eventos coherentes que deben atenuarse porque enmascaran la señal (Yilmaz, 2001).

En la figura 4.17 se observa un apilado en bruto en la parte de arriba, en la parte de abajo un apilado solo con la Divergencia Esférica aplicada y la edición de algunos ruidos. La línea sísmica que se presenta en las imágenes es parte de las líneas procesadas para el trabajo, se trata de la línea Benemérito-Linares 158.



**Fig. 4.17.- Apilado en bruto y Apilado con divergencia esférica y edición de algunos ruidos.**

Se puede notar que con tan solo estos procesos aplicados se logra rescatar gran parte de la información dentro de la línea, brindando una mejor idea desde un principio de que tipo de información geológica podemos obtener de esta sección sísmica.

Sin embargo se aprecian hacia la parte media de la línea y a lo largo de ella algunas zonas ruidosas donde los reflectores no son del todo visibles, lo cual ira mejorando conforme se apliquen los procesos que se describen mas adelante.

En la figura 4.18 se observan dos tiros, a la izquierda se aprecia un tiro sin edición de ruidos y a la derecha se aprecia el mismo tiro con los ruidos atenuados.

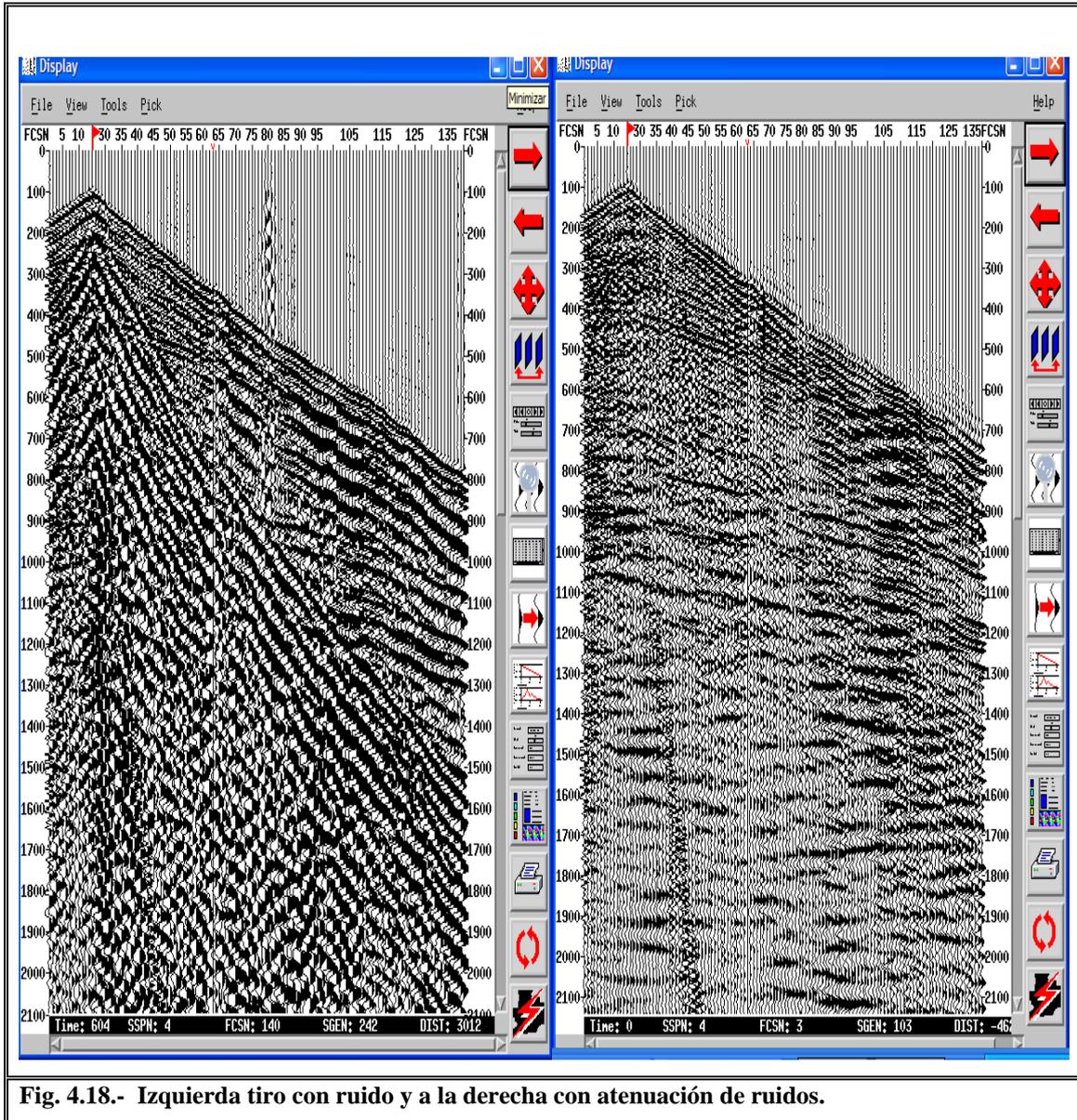
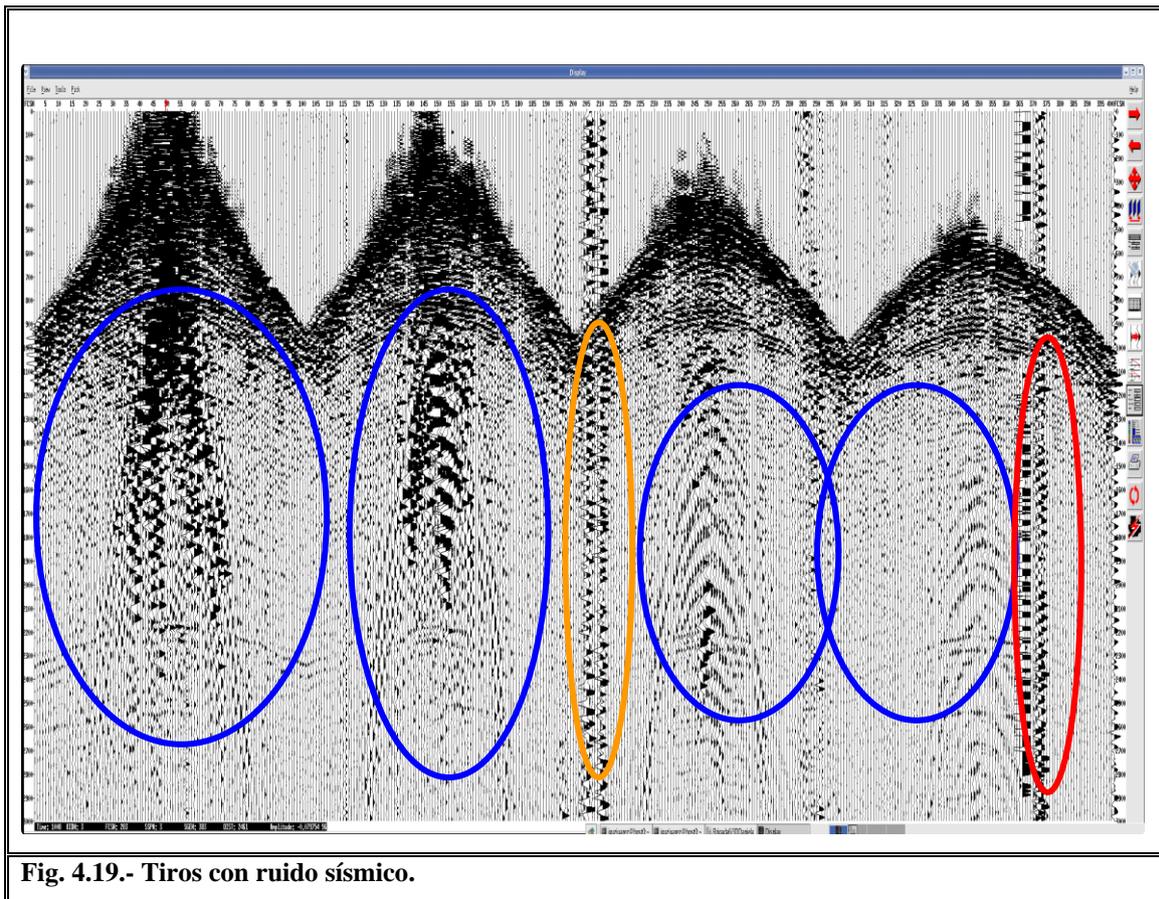


Fig. 4.18.- Izquierda tiro con ruido y a la derecha con atenuación de ruidos.

A la izquierda dentro de la imagen se puede apreciar un tiro con ruido de tipo *ground roll* (conocido también como onda guiada o superficial), así como también se aprecia algo de ruido ambiental.

Para poder diferenciar y apreciar mejor estos diferentes tipos de ruidos, en la siguiente imagen se señalan dentro de una elipse.

En la figura 4.19 se aprecia un registro de campo en el cual se observa el *ground roll* enmarcado en azul, enmarcado en naranja el ruido ambiental, y en rojo el ruido eléctrico.



**Fig. 4.19.- Tiros con ruido sísmico.**

Dentro del software SeisUp existen diferentes módulos o herramientas que permiten realizar la atenuación de la mayoría de los ruidos presentes en los registros de campo.

Sin embargo en ocasiones es necesario revisar tiro por tiro e ir eliminando manualmente las trazas ruidosas, este método fue utilizado en algunas de las líneas que se realizaron para este trabajo y no es un método muy recomendado ya que es muy tardado y algo pesado sin embargo hay ocasiones en que hay que realizarlo para que la información quede con la mejor calidad posible.

#### 4.7.- Deconvolución

El proceso de deconvolución, consiste en regenerar la forma de onda emitida al subsuelo, con la finalidad de atenuar todos los efectos que sufre la energía sísmica al paso por el medio geológico, lo cual se aprecia en los gathers que se muestran en la figura 4.20. Un gather es una familia o conjunto de CDP'S y un CPD es un punto de reflejo común (Sheriff y Geldart, 1995).

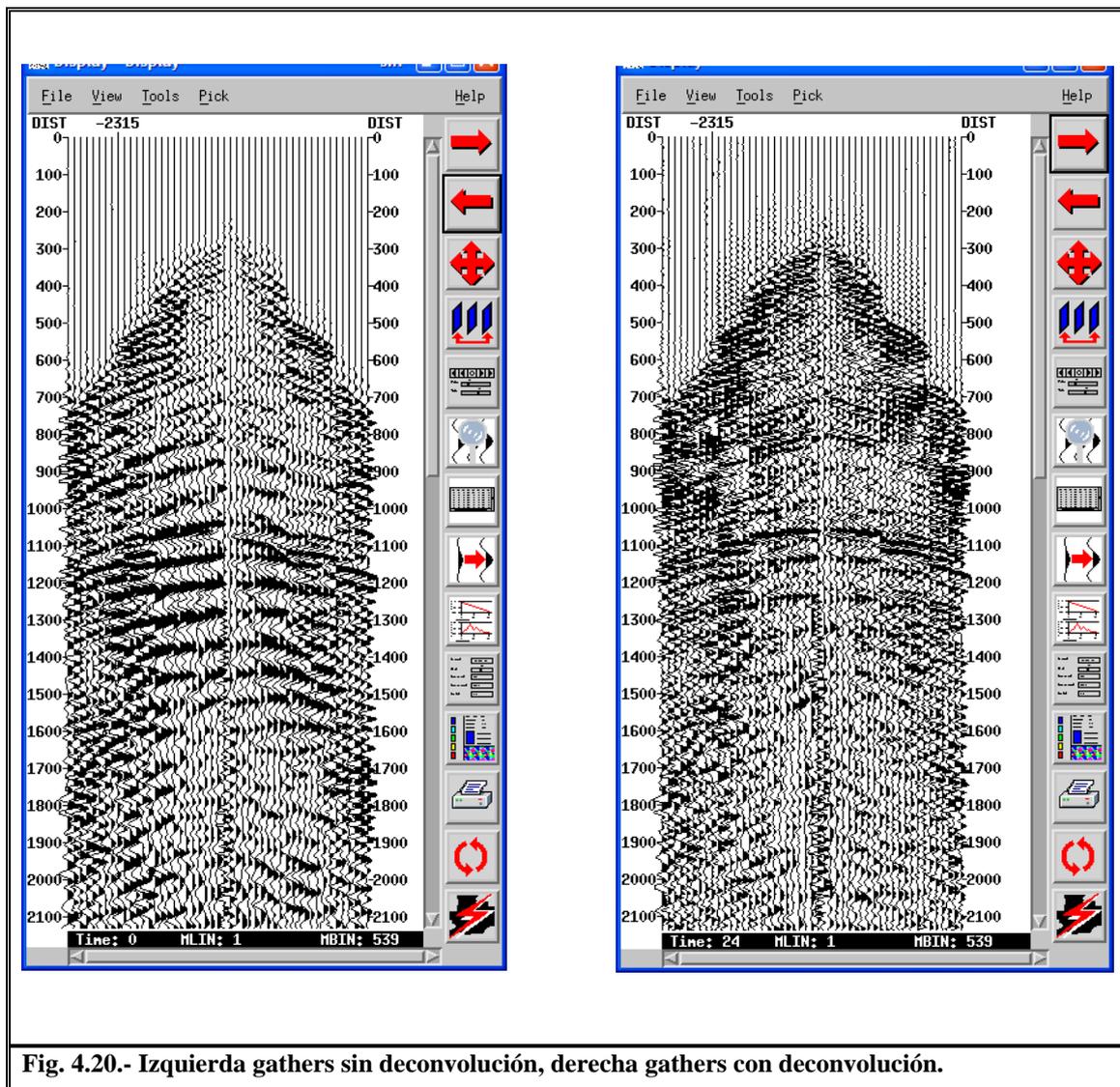


Fig. 4.20.- Izquierda gathers sin deconvolución, derecha gathers con deconvolución.

En los gathers que se observan en la imagen se puede apreciar como se espiga la señal dando como resultado un mejor reflector. Definitivamente para cuestiones de apreciación es mejor el ejemplo observado en los gathers que en la sección sísmica al menos en esta parte ya que no se observa mucha diferencia o mejora en cuanto a la figura 4.17.

En la figura 4.21 se aprecia un apilado con la divergencia esférica, atenuación de ruidos y deconvolución aplicados, esto tomando una velocidad calculada para apilar ya que hasta este momento dentro de la secuencia no se ha llegado al primer picado de velocidades y es importante llevar un seguimiento para apreciar la evolución en la sección sísmica.

Se presenta nuevamente en la parte superior el apilado en bruto como punto de comparación y así poder observar el avance que presenta la sección hasta este momento, dentro de SeisUp se tienen distintas opciones para aplicar la deconvolución, las dos con las que se realizaron pruebas fueron la deconvolución spike y deconvolución predictiva y después de comparaciones y pruebas se decidió trabajar con la deconvolución predictiva ya que dio mejores resultados para estas líneas.

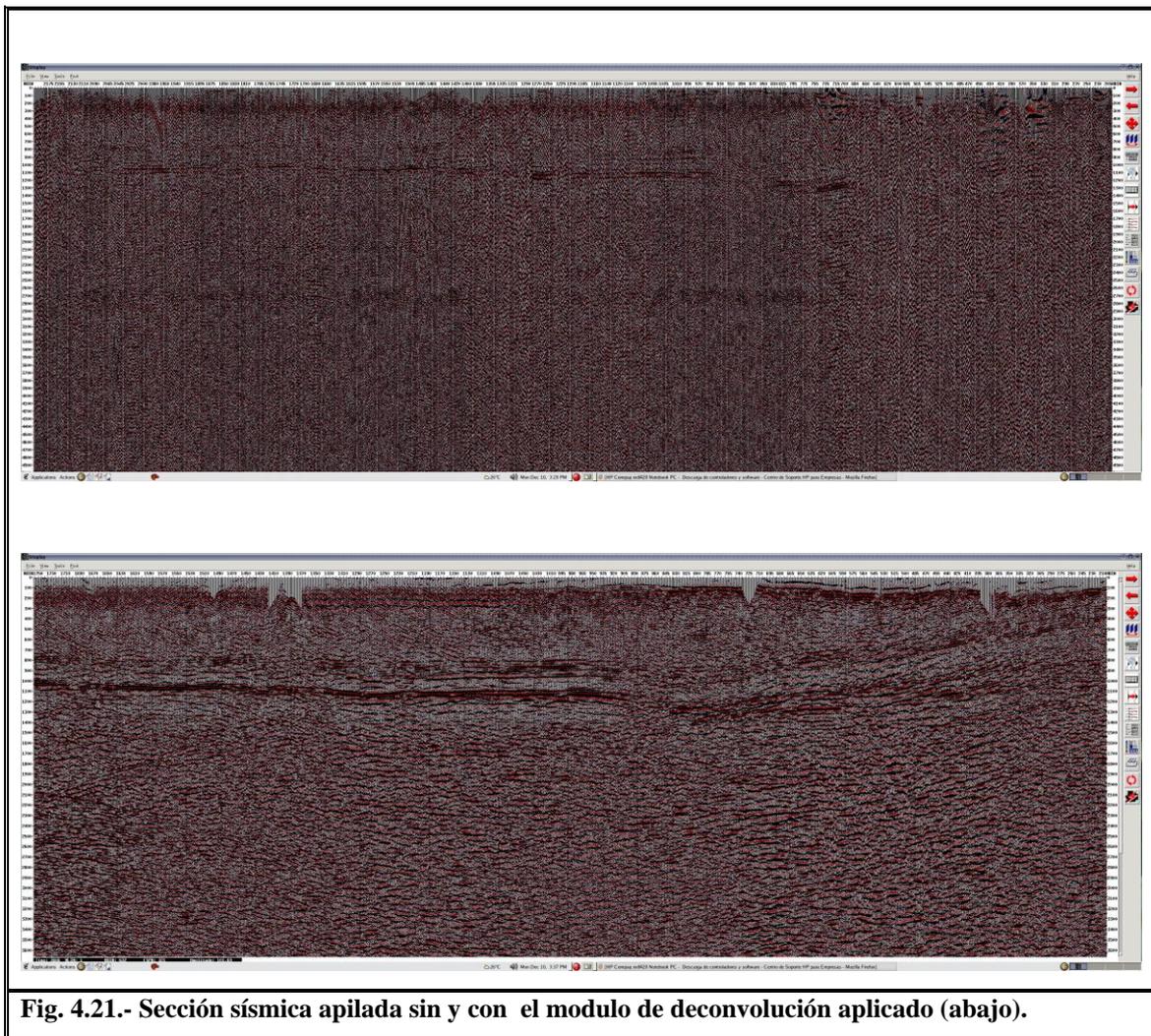


Fig. 4.21.- Sección sísmica apilada sin y con el módulo de deconvolución aplicado (abajo).

#### 4.8.- Correcciones estáticas

Se definen como las correcciones verticales invariantes en tiempo, aplicadas para colocar fuentes y detectores sobre un mismo plano imaginario como se muestra en la figura 4.22 y tiene como objetivo cancelar los efectos indeseables de la porción superficial de la Tierra, que afectan a todas las ondas que viajan por la capa de intemperismo. El objetivo es determinar los tiempos de arribo de la reflexión como si fueran observados todos en un mismo plano de referencia (Yilmaz, 2001).

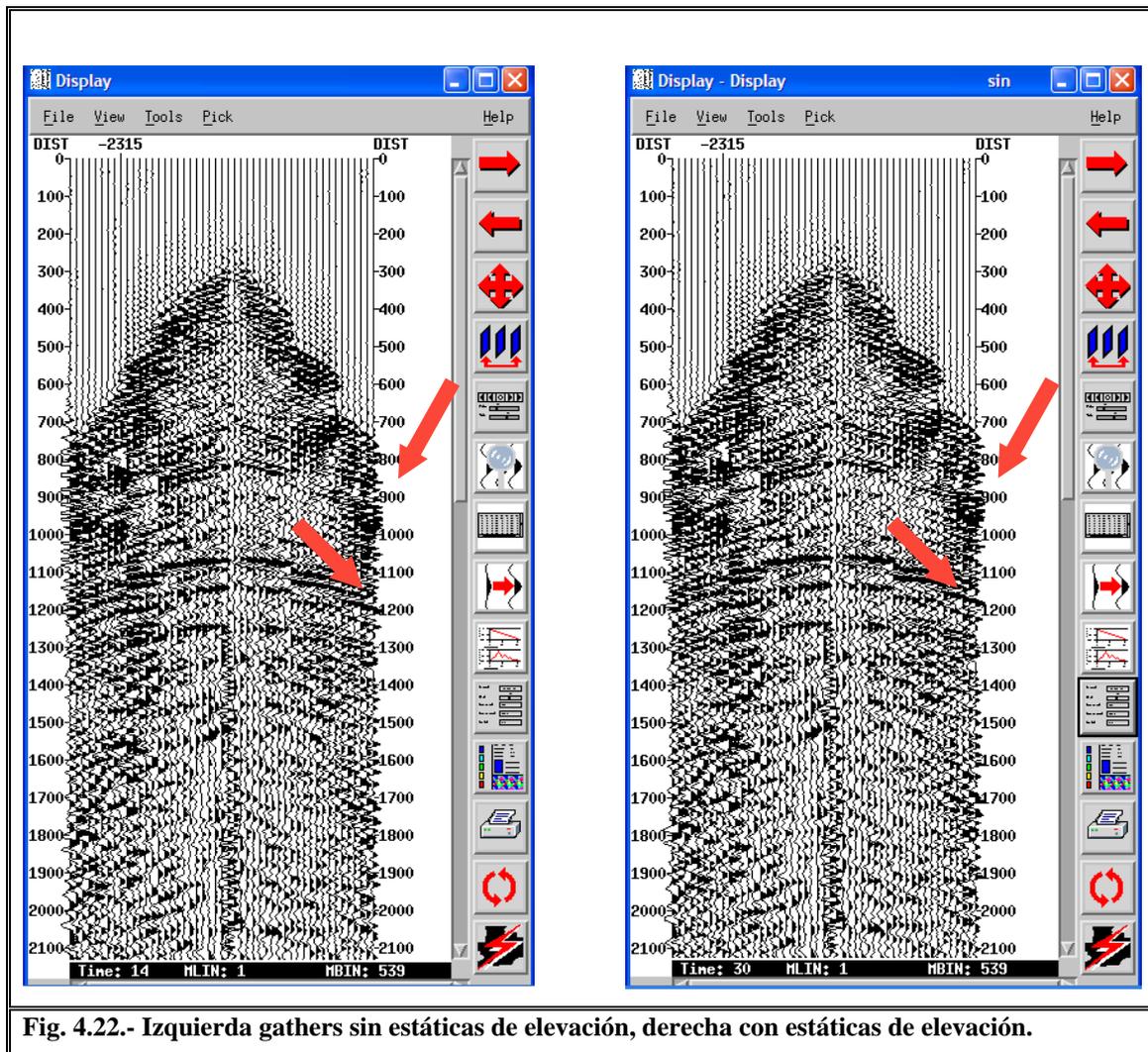


Fig. 4.22.- Izquierda gathers sin estáticas de elevación, derecha con estáticas de elevación.

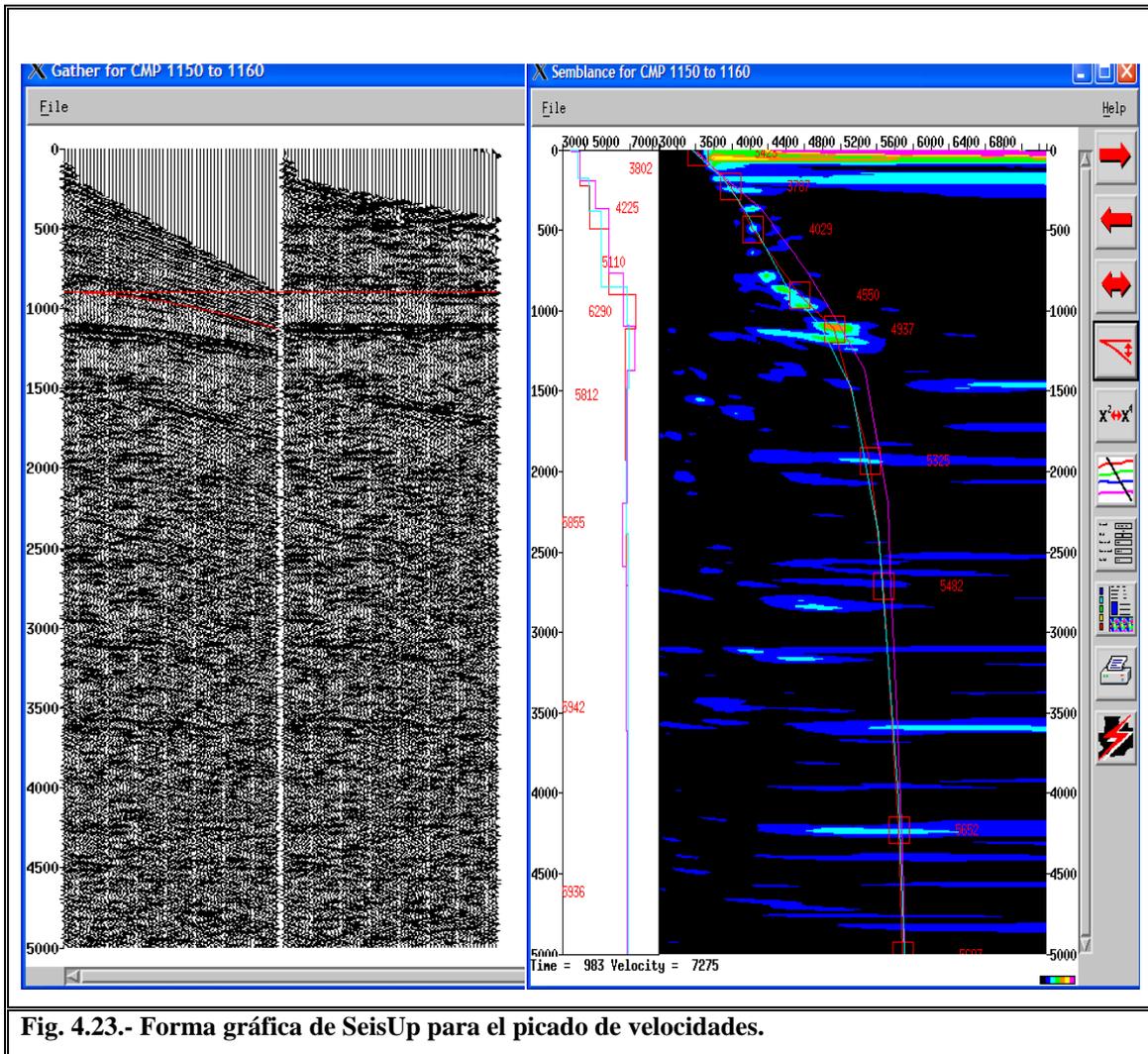
En esta parte no se utilizó una sección de ejemplo ya que no se observaba ninguna diferencia dentro de la misma, en cambio los gathers son más ilustrativos al menos en esta parte de la secuencia.

En la imagen se puede observar señalado con flechas en rojo la variación que presentan los gathers, que son a causa de la aplicación de las estáticas de elevación.

**4.9.- Correcciones Dinámicas Normal Moveout (NMO)**

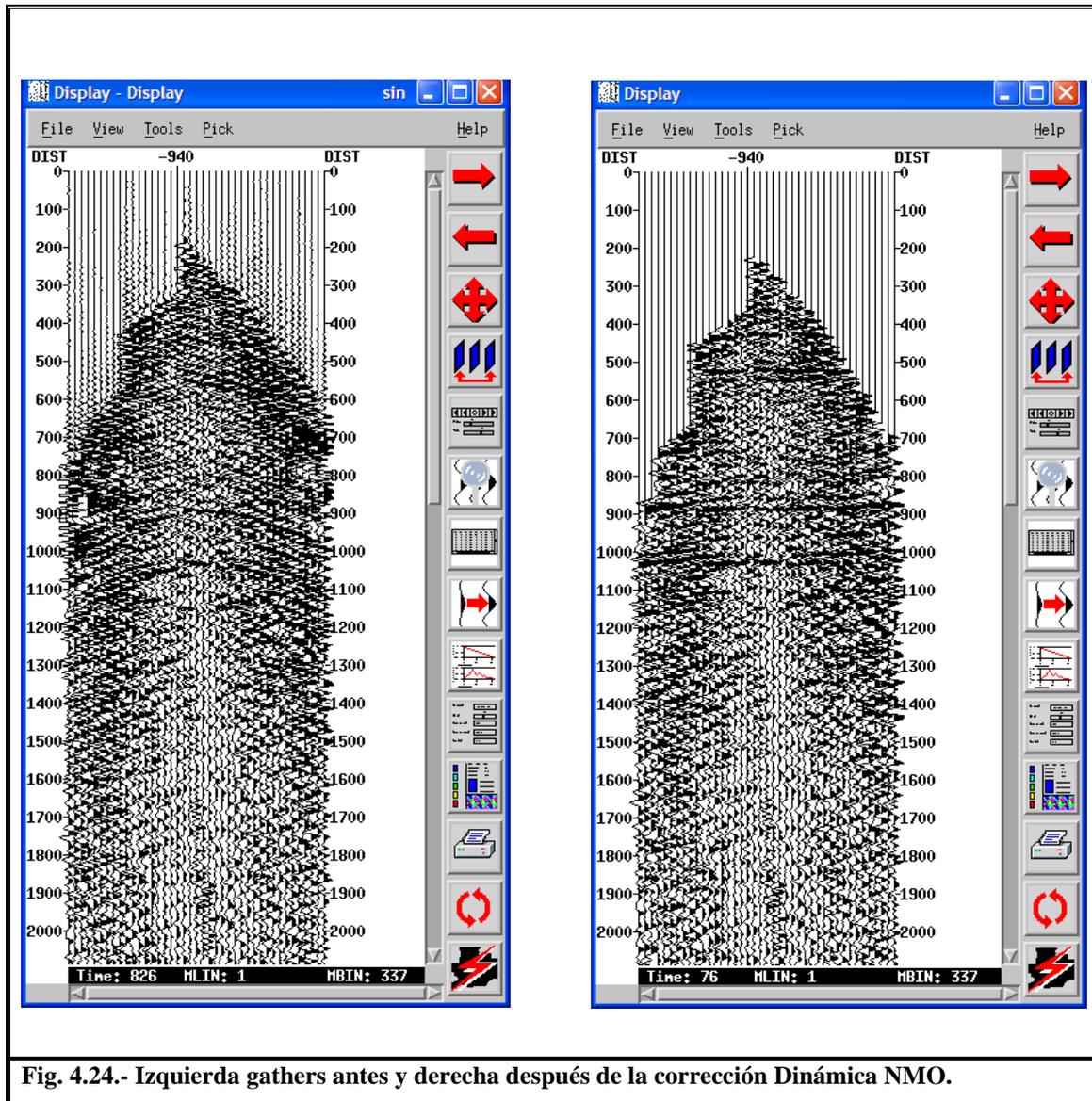
La Corrección Dinámica consiste en llevar todas las trayectorias oblicuas, de una familia CMP, a la vertical, o sea suponer que la fuente y el receptor se encuentran en la misma estación, es decir compensar el tiempo debido a la distancia fuente – receptor (Sheriff y Geldart, 1995).

En la figura 4.23 se puede observar el entorno gráfico de SeisUp para realizar el picado de las velocidades, a la izquierda dentro de la imagen se pueden observar dos gathers, el primero antes de la corrección y el segundo ya corregido, seguido de la ventana de picado u análisis de velocidades en la cual se aprecia la tendencia seguida al realizar la corrección dentro de este gather.



**Fig. 4.23.- Forma gráfica de SeisUp para el picado de velocidades.**

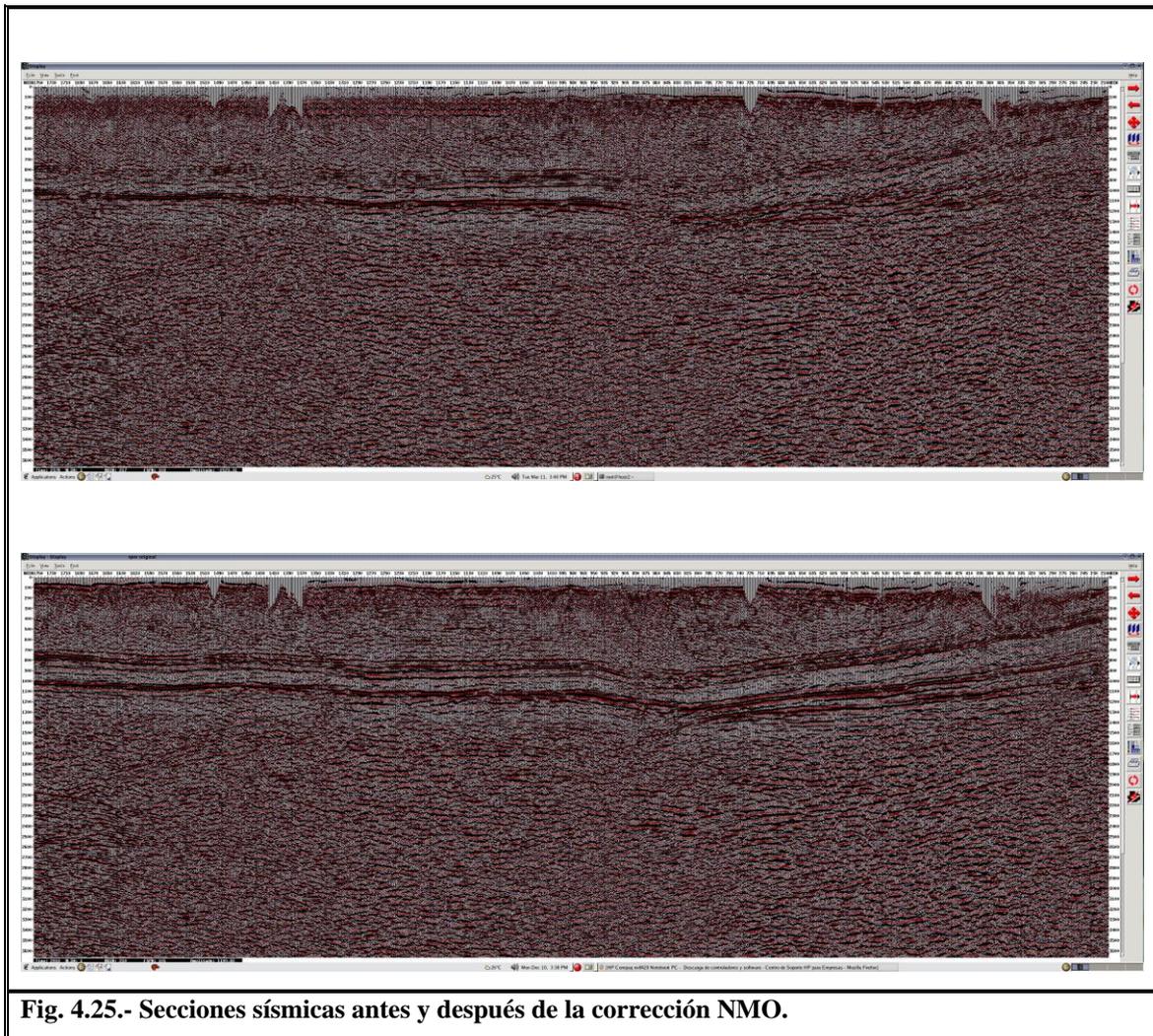
En la figura 4.24 se puede observar un gather antes de la corrección NMO y después de la misma, es notoria la diferencia en la información dentro del rango 800-1100 ms., se puede observar como de lado derecho el evento u información se encuentra plana y del lado izquierdo se aprecia como se encontraba la información antes de la corrección.



Es necesario mencionar que este paso es uno de los mas importantes dentro del procesado de datos, ya que un buen picado de velocidades dará como resultado una mejor imagen a la hora de realizar el apilado final y la migración, por este motivo es que en una misma secuencia de proceso se tiene que realizar mas de un picado de velocidades tan solo para apilar ya que para migrar se realiza un nuevo ciclo de picado de velocidades, el cual concluye cuando el producto que se obtiene cumple las

expectativas y cuando la calidad de la imagen este solo en función de las velocidades ya que hay otros factores que pueden interferir para que la imagen quede en buen estado.

En la siguiente imagen se observa el primer apilado obtenido de esta sección, en esta parte se aplico la corrección dinámica NMO en conjunto con los procesos descritos anteriormente, en la figura 4.25 se observa la sección antes de la corrección NMO en la parte superior y en la parte inferior después de la corrección NMO.



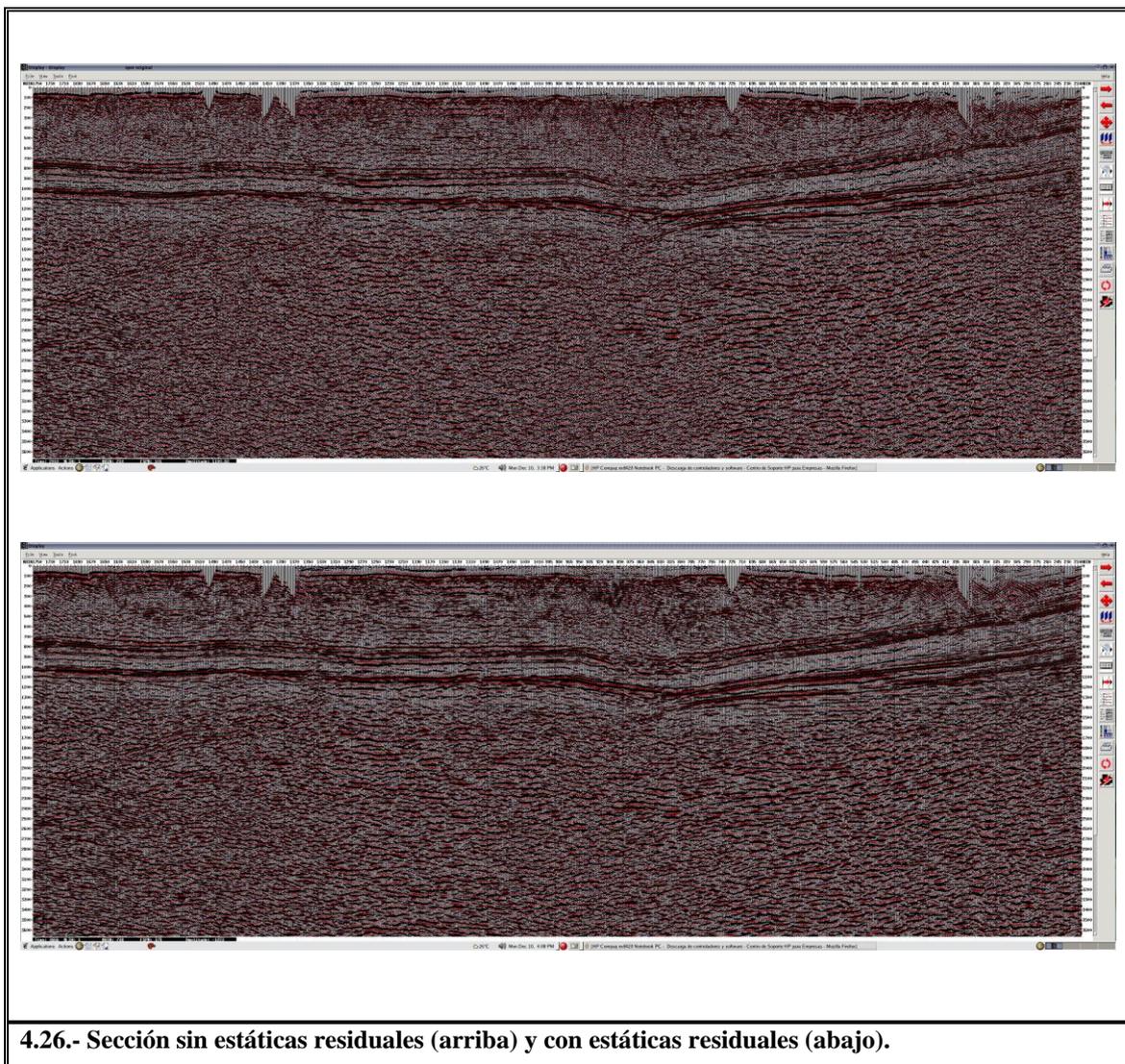
**Fig. 4.25.- Secciones sísmicas antes y después de la corrección NMO.**

Es realmente notoria la diferencia entre las dos secciones se puede observar como los reflectores son mas continuos y en las partes que parecía no haber información ahora aparecen reflectores brindando así una mejor imagen y por lo tanto mas información.

#### 4.10.- Correcciones Estáticas Residuales

Debido a la aplicación incorrecta del desplazamiento en los CDP'S, el shift o desplazamiento en el apilado puede ser maximizado. El algoritmo fue diseñado para obtener suficiente información en un paso a través de los datos sísmicos 2D para estimar las correcciones estáticas de las reflexiones. Como anteriormente se comento en las correcciones estáticas existen variaciones laterales de velocidad y cambios topográficos que causan estas anomalías en tiempo que se pueden aproximar con los desplazamientos de las estáticas consistentes con la superficie (Yilmaz, 2001).

En la figura 4.26 se puede observar en la parte superior una sección sísmica antes de aplicar estáticas residuales y en la parte inferior la misma sección con estáticas residuales aplicadas. Básicamente la diferencia radica en que los reflectores se vuelven mas continuos en otras palabras refuerza la señal.

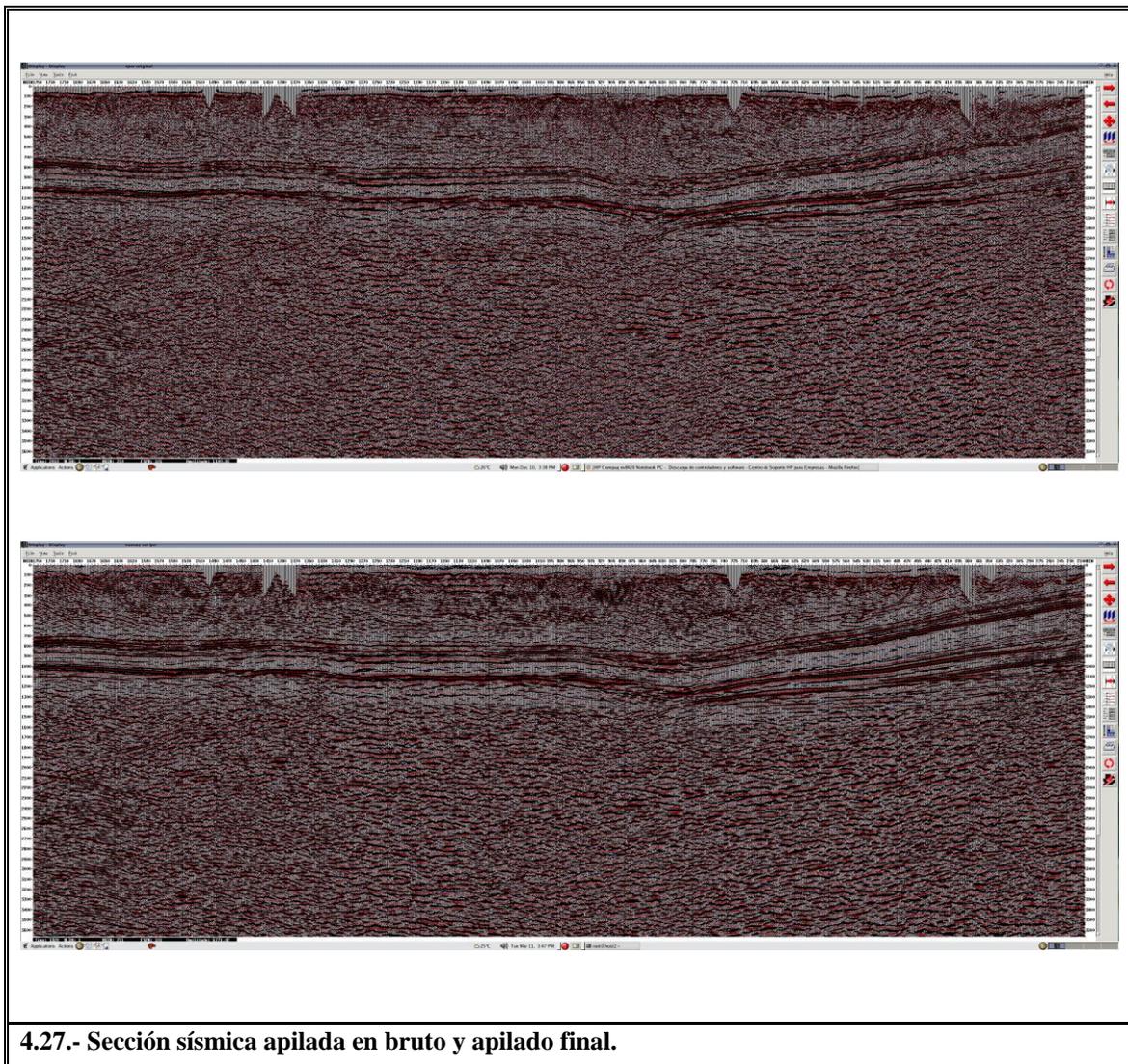


4.26.- Sección sin estáticas residuales (arriba) y con estáticas residuales (abajo).

#### 4.11.- Apilamiento

El proceso de apilamiento consiste en sumar algebraicamente las diferentes trazas individuales que conforman una misma familia de punto de reflejo común (PRC) (Yilmaz, 2001).

En la figura 4.27 se puede observar una de las secciones procesadas para el trabajo, se aprecia un apilado con las primeras velocidades en la parte de arriba y un apilado final con las mejores velocidades en la parte de abajo, en esta imagen la diferencia radica en la continuidad de los reflectores por ejemplo hacia la parte final en el extremo derecho se aprecian mas continuos los reflectores en el apilado final.



4.27.- Sección sísmica apilada en bruto y apilado final.

Este es el apilado final, entre el apilado final y la migración hay una serie de procesos para mejorar aun mas la calidad de la imagen y preparar los datos para la migración

Post-Apilamiento en Tiempo y sucesivamente la migración Pre-Apilamiento en Tiempo.

Dentro del apilado, el tratamiento numérico moderno consiste en aplicar una serie de operaciones a los datos sísmicos. Aunque existen numerosos procesos diferentes, son todos basados en dos métodos simples (Yilmaz, 2001) que se clasifican como sigue:

**Procesos de suma**

Se aplican a datos grabados con una configuración distinta pero que contienen la misma señal y son sumados. La señal es coherente y está entonces reforzada. El ruido indeseable es muchas veces aleatorio y en consecuencia no esta reforzado. Es un proceso de aumento de la relación señal/ruido (Yilmaz, 2001).

La forma de suma más común se llama Apilamiento (Fig. 4.28).

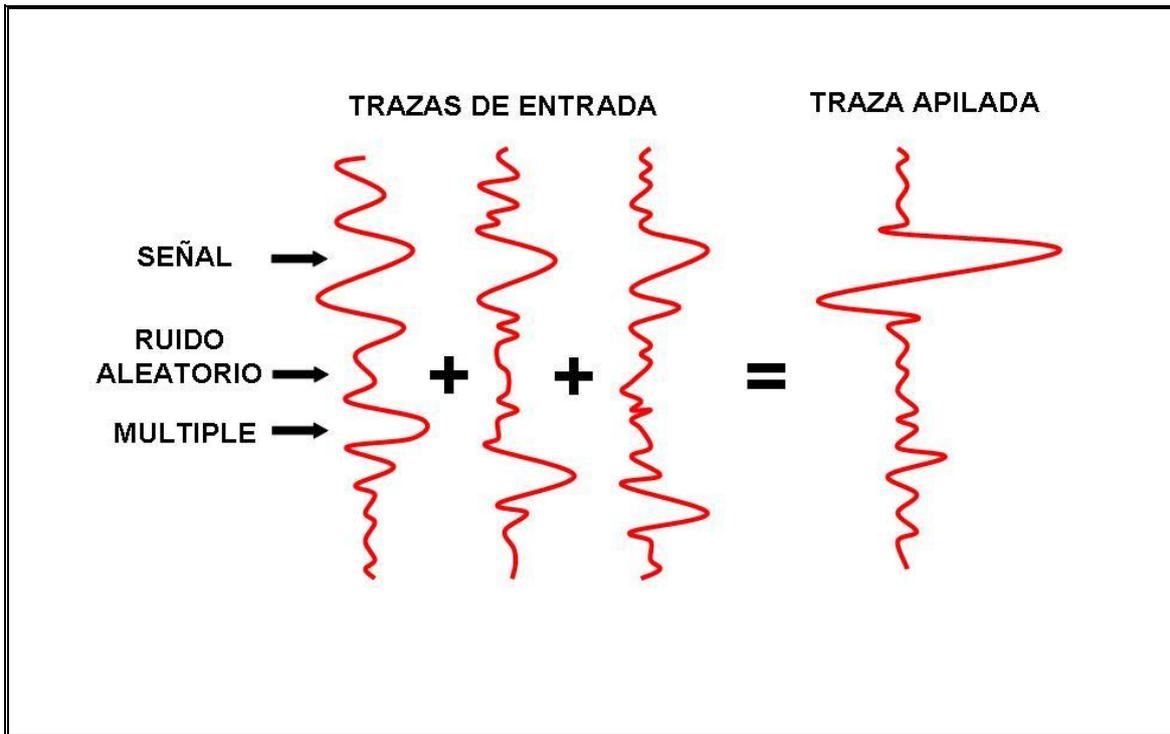


Fig. 4.28.- Apilado de datos.

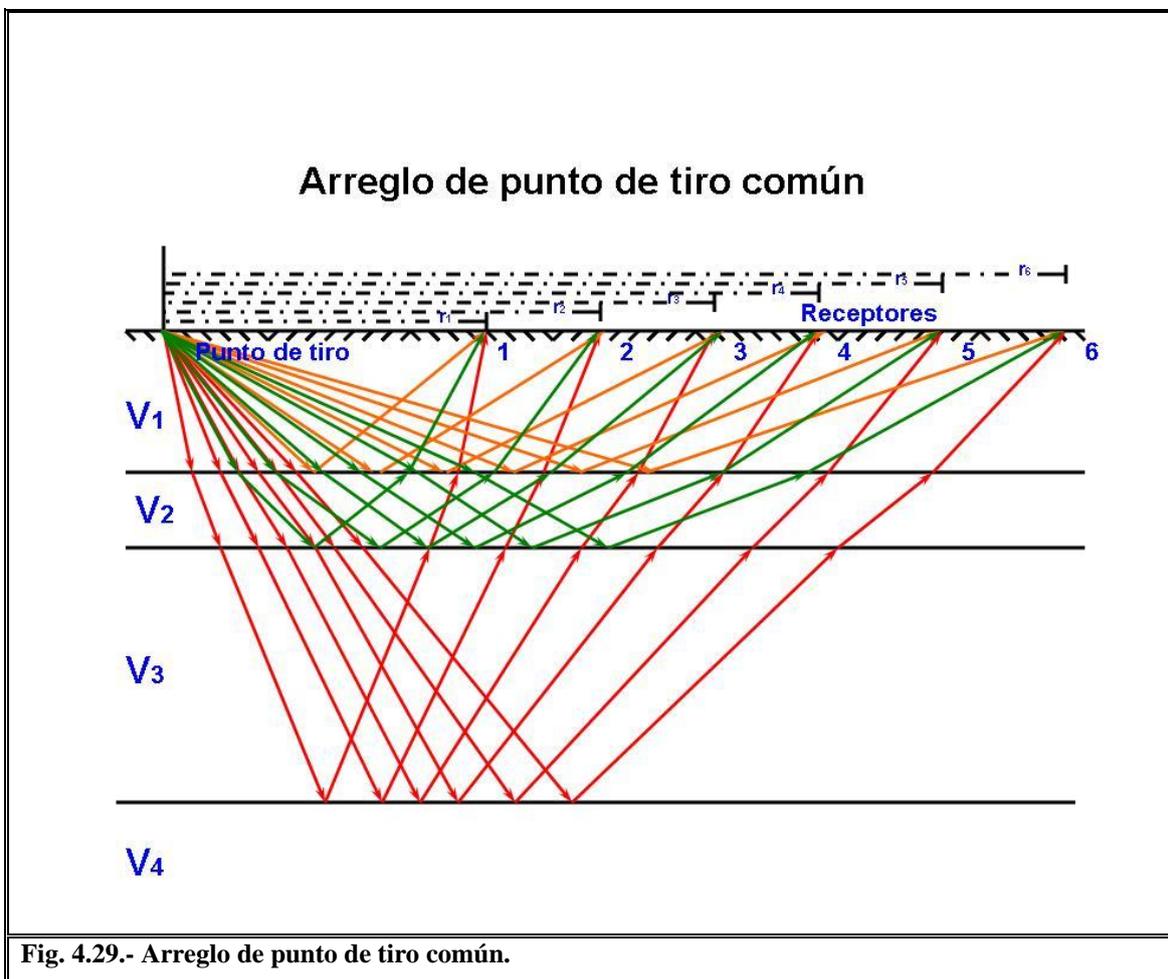
En la figura se puede observar lo antes explicado, se tienen tres trazas con información, ruido aleatorio y múltiples, el apilado consiste en formar o sumar conjuntos de trazas con un mismo patrón de señal para así poder reforzar la información, como se puede observar en la traza apilada en la cual se observa la señal con mas intensidad, esto hace

que los reflectores sean mas claros y que la imagen por consecuencia tenga mejor resolución proporcionando así mas información útil.

Los dos tipos más comunes de apilamiento son los siguientes:

#### 4.11.1.- Apilamiento vertical

Consiste en que las trazas grabadas individualmente y prácticamente a partir del mismo punto fuente con los mismos receptores son sumadas (Telford *et al.*, 1976). En la figura 4.29 se puede observar de manera gráfica lo antes explicado.



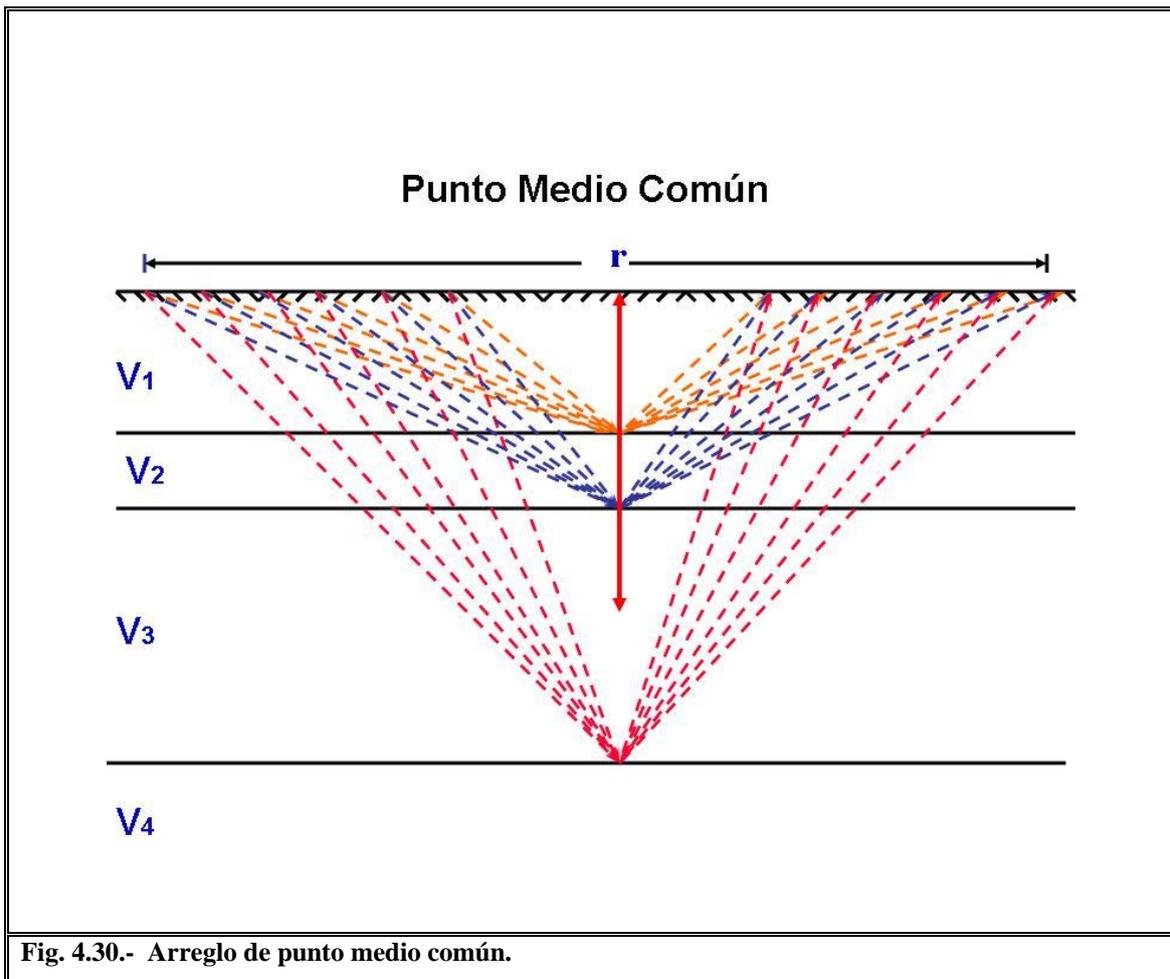
En el apilado vertical básicamente se suman las trazas con un patrón de información similar pero dentro de un solo receptor en otras palabras la información llega al receptor se clasifica y se realiza el apilado sin importar que el punto de reflejo sea diferente en cada receptor (Telford *et al.*, 1976).

En este caso o para las líneas usadas en este trabajo la compañía encargada de realizar la adquisición de datos sísmicos utilizó otro arreglo conocido como Apilamiento CPD o punto de reflejo común y se describe a continuación.

**4.11.2.- Apilamiento CDP (Punto de Reflejo Común)**

Las trazas que pertenecen al mismo punto espejo pero provienen de puntos fuentes y de puntos receptores diferentes son sumadas (Fig. 4.30) (Yilmaz, 2001).

En este caso las trazas que tienen un punto de reflejo común son sumadas sin importar que se hayan registrado en receptores diferentes o provengan de puntos de tiro distintos, se busca un patrón en la señal de las trazas y posteriormente se refuerza la señal por medio del apilado.



#### 4.11.3.- Multiplicación

Se trata de la multiplicación de la traza sísmica por otra serie cronológica que modificará los datos sísmicos de la manera deseada. La serie cronológica que efectúa la modificación se llama operador. Existen numerosas maneras de modificar los datos por un operador (Telford *et al.*, 1976), por ejemplo:

- ✓ **Igualación de las trazas:** Es el cambio de amplitud de una traza sísmica.
- ✓ **Filtrado en frecuencia:** Es la eliminación de altas o muy bajas frecuencias de la traza sísmica.

#### 4.12.- Migración

Es un proceso que se aplica para corregir las difracciones que se producen en una sección sísmica debido a un relieve brusco de algún reflector. Se realiza entonces el proceso de Migración para llevar los eventos a su verdadera posición en el subsuelo (Fig. 4.31).

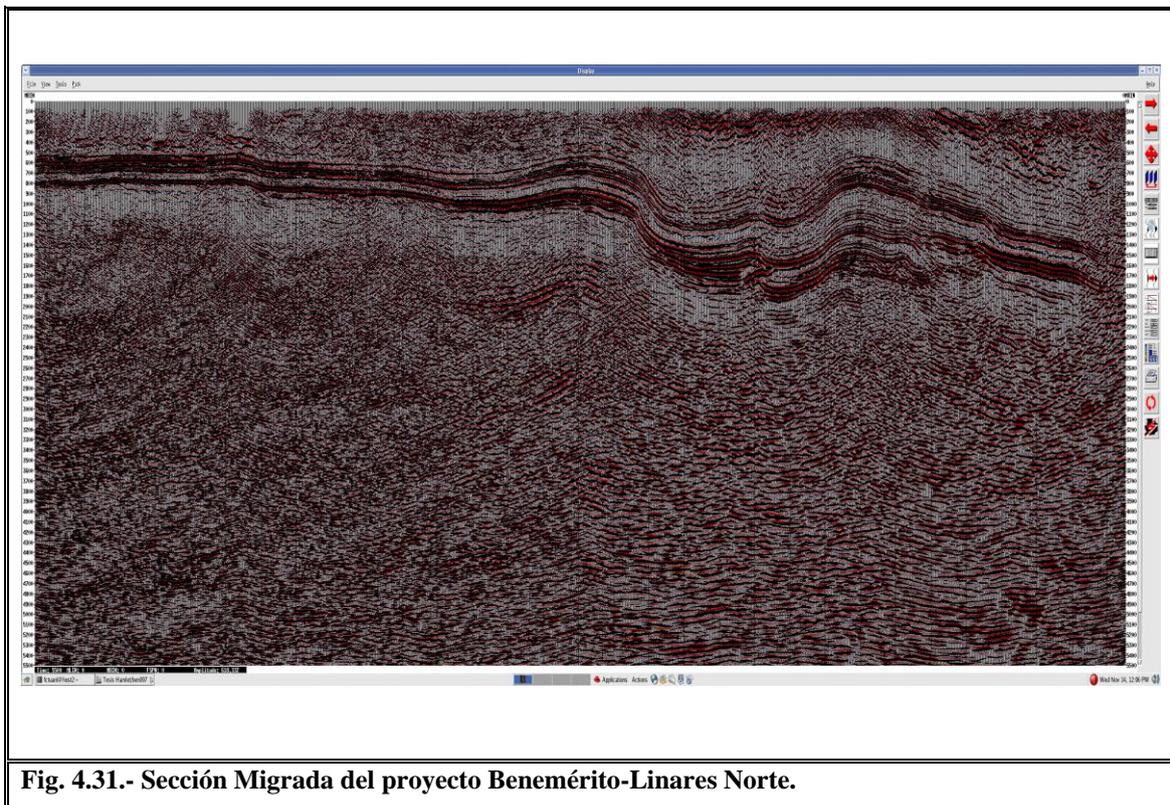
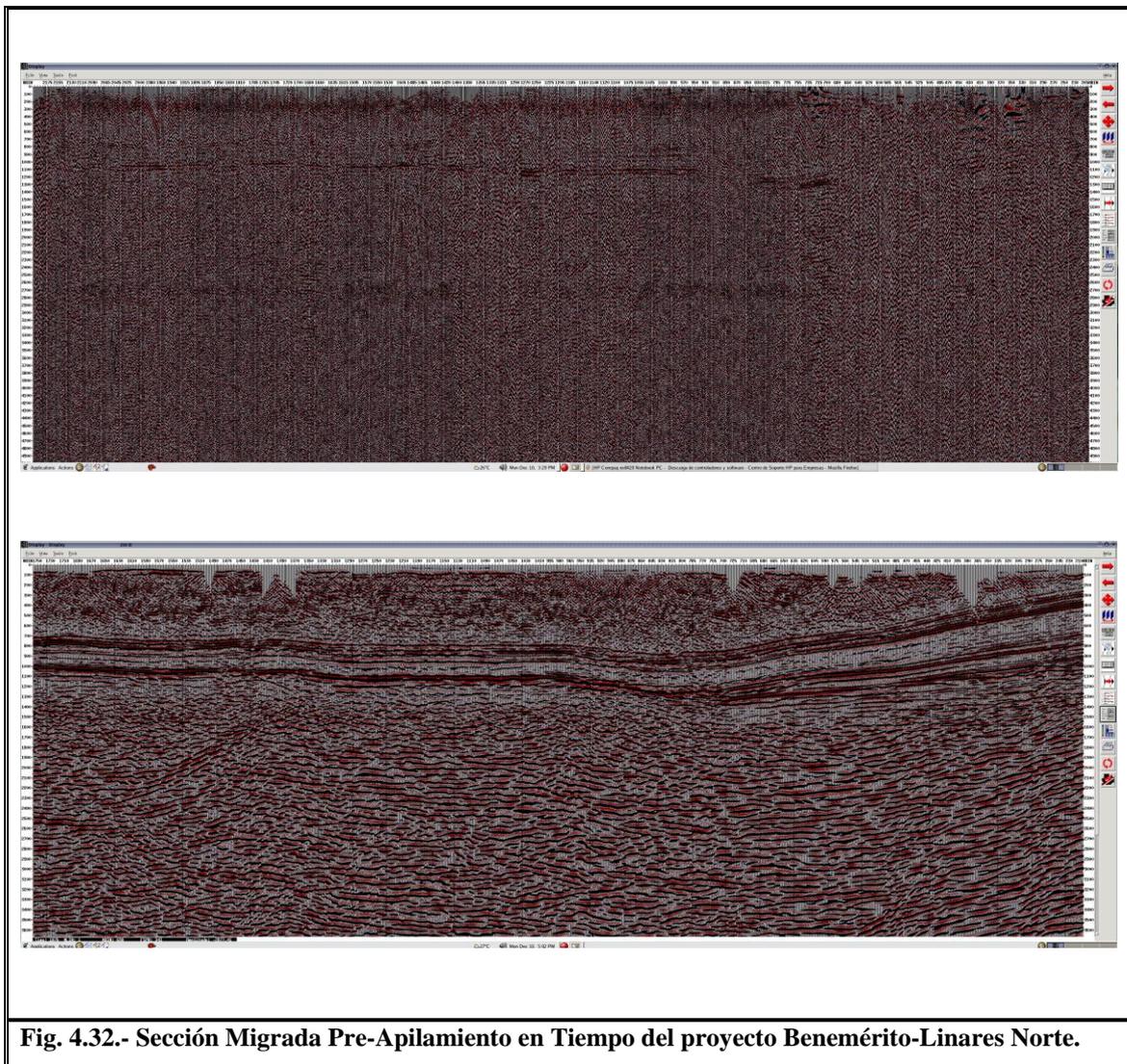


Fig. 4.31.- Sección Migrada del proyecto Benemérito-Linares Norte.

La migración en tiempo asume que la velocidad varía mayormente en la dirección vertical mientras que la migración en profundidad además permite la variación horizontal de la velocidad; los resultados de la migración en tiempo y de profundidad se pueden exhibir en tiempo o profundidad (Yilmaz, 2001).

La figura 4.32 muestra la línea sísmica 158 en su estado original, a lo que se denomina como apilado en bruto en la parte superior y su versión final Migración Pre-Apilamiento en Tiempo en la parte inferior.



**Fig. 4.32.- Sección Migrada Pre-Apilamiento en Tiempo del proyecto Benemérito-Linares Norte.**

Existen varios algoritmos de migración, entre los que están: por integración a lo largo de las superficies de las curvas (migración de la difracción de Kirchhoff), por desplazamiento de la fase (Phase Shift), por continuación descendente del campo de onda y por operaciones equivalentes en frecuencia – número de onda (Diferencias Finitas), u otros dominios (Sheriff y Geldart, 1995) etc.

En este trabajo se utilizaron tres diferentes métodos: el de Stolt (f-k), por Diferencias Finitas (Omega-X) y el de Kirchhoff, siendo este último el que proporciono mejores resultados en las imágenes finales.

### **Método Stolt (f-k)**

Un método de migración en el dominio frecuencia – numero de onda, donde se asume una velocidad constante del subsuelo. El estiramiento vertical es hecho antes de aplicar la transformada de Fourier para acomodar aproximadamente variaciones verticales de la velocidad (Sheriff y Geldart, 1995). En la figura 4.33 se observa una sección migrada utilizando este método.

Usos:

- ✓ Usada para implementar migraciones en tiempo.
- ✓ Mapeo de velocidad constante en el dominio F-K.
- ✓ Estiramiento Stolt se usa para aproximar variaciones de velocidades.

Ventajas:

- ✓ Muy rápida.
- ✓ Migración hasta 90° (se asume velocidad constante)

Desventajas:

- ✓ Pobre resolución de variaciones verticales/laterales de velocidad.
- ✓ Pobre resolución de echados fuertes.

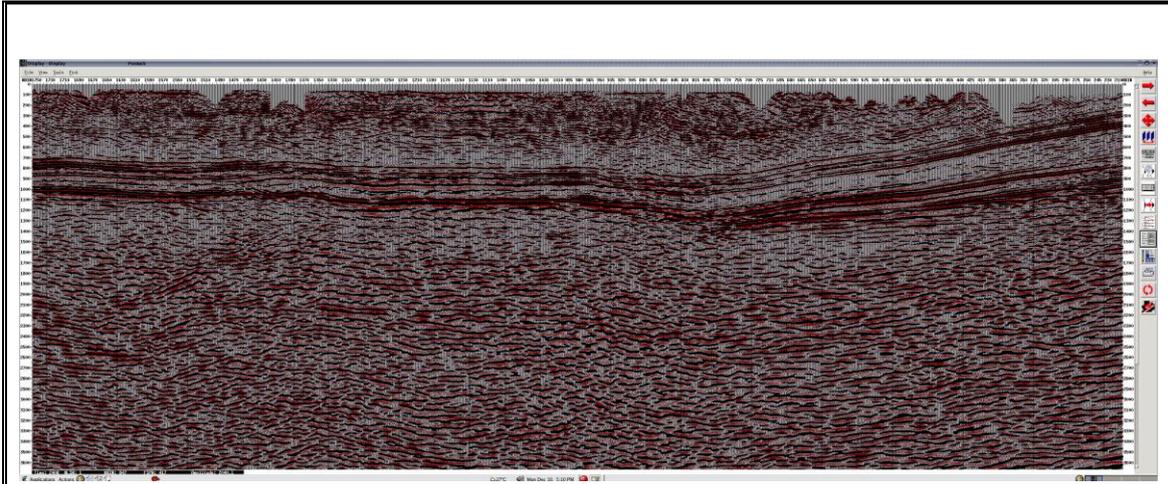


Fig. 4.33.- Sección Migrada por el método de Stolt.

### Método Omega-X (Diferencias Finitas)

Esta basada en el algoritmo de diferencias finitas que resuelve la ecuación acústica en el dominio espacio frecuencia, existen dos tipos de soluciones: Implícita y explícita (Sheriff y Geldart, 1995). En la figura 4.34 se observa una sección migrada utilizando este método.

Usos:

- ✓ Usado para migración en tiempo y profundidad.
- ✓ La migración implícita usa operadores de diferencias finitas.
- ✓ La migración explícita usa operadores de convolución.

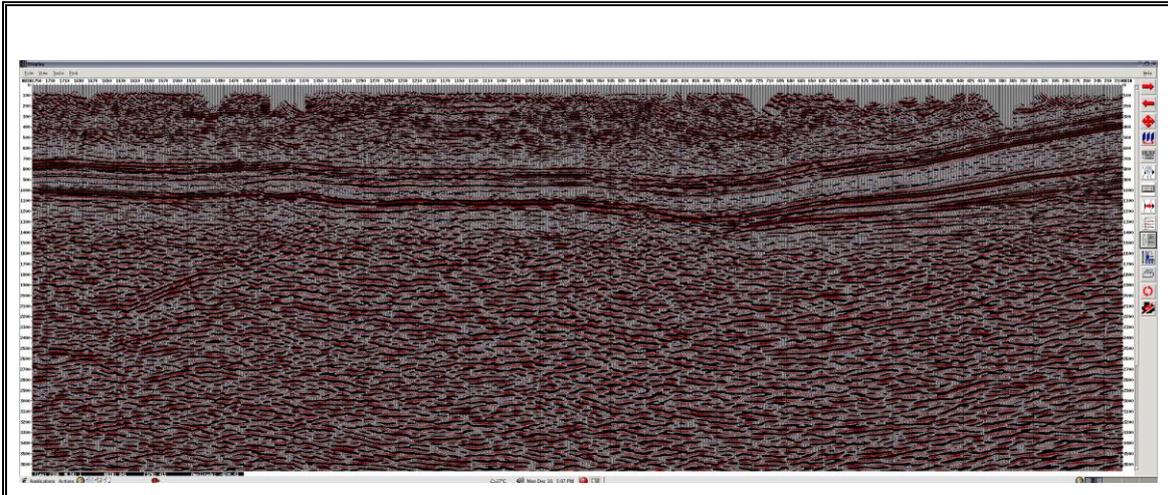
Ventajas.

- ✓ Maneja variaciones verticales y laterales de velocidad.
- ✓ Puede implementar correcciones para reposicionar el nivel de referencia.
- ✓ Buena resolución con ángulos mayores de 70 grados.

Desventajas:

- ✓ Solución algo lenta depende de la máxima frecuencia en los datos.
- ✓ No maneja echados muy altos (más de 60°).

- ✓ La Migración con solución implícita sufre de severa dispersión.



**Fig. 4.34.- Sección Migrada por el método Omega-X.**

### **Método Kirchhoff**

Se basa en la solución integral de la ecuación de onda. La respuesta a un punto de difracción es una hipérbola definida por una velocidad determinada y por tanto la suma sobre su inversa coloca en fase a la difracción (Sheriff y Geldart, 1995). En la figura 4.35 se observa una sección migrada utilizando este método.

Usos:

- ✓ Usada tanto para migraciones en tiempo y en profundidad
- ✓ Migración llevada a cabo con integración.
- ✓ Cuando se migra en profundidad usa trayectorias de rayos o tiempos de viaje.

Ventajas:

- ✓ Resolución de variaciones de velocidad tanto vertical como lateral.
- ✓ Preciso a  $90^\circ$  y a más de esta inclinación.

Desventajas:

- ✓ Implementación en profundidad puede ser lenta

- ✓ Solución del tiempo de viaje puede ser inestable en campos complejos de velocidades.

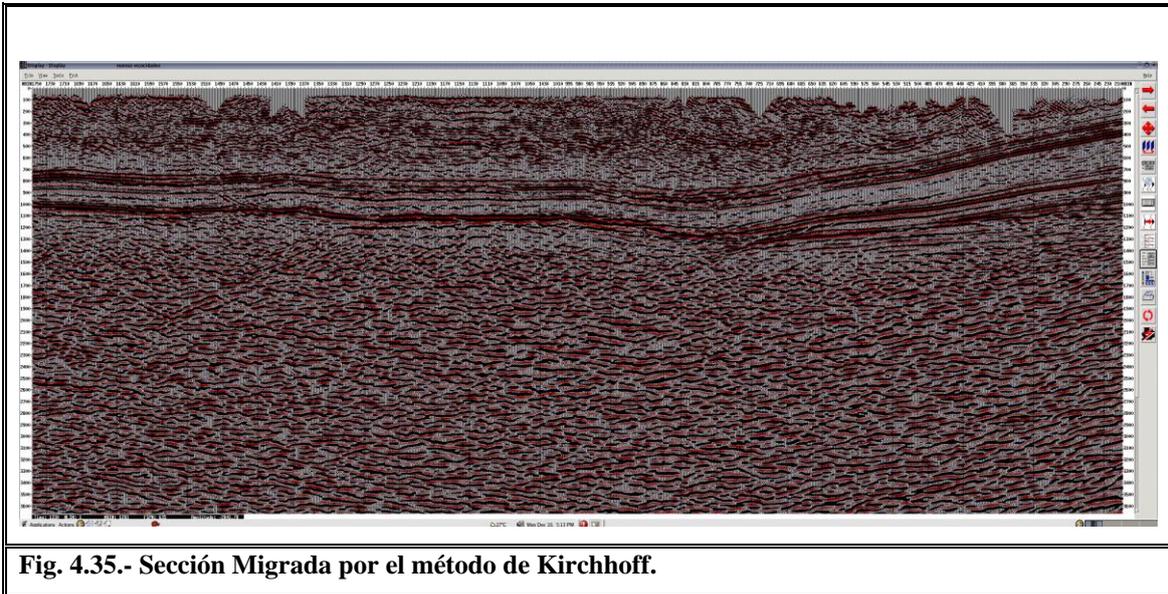
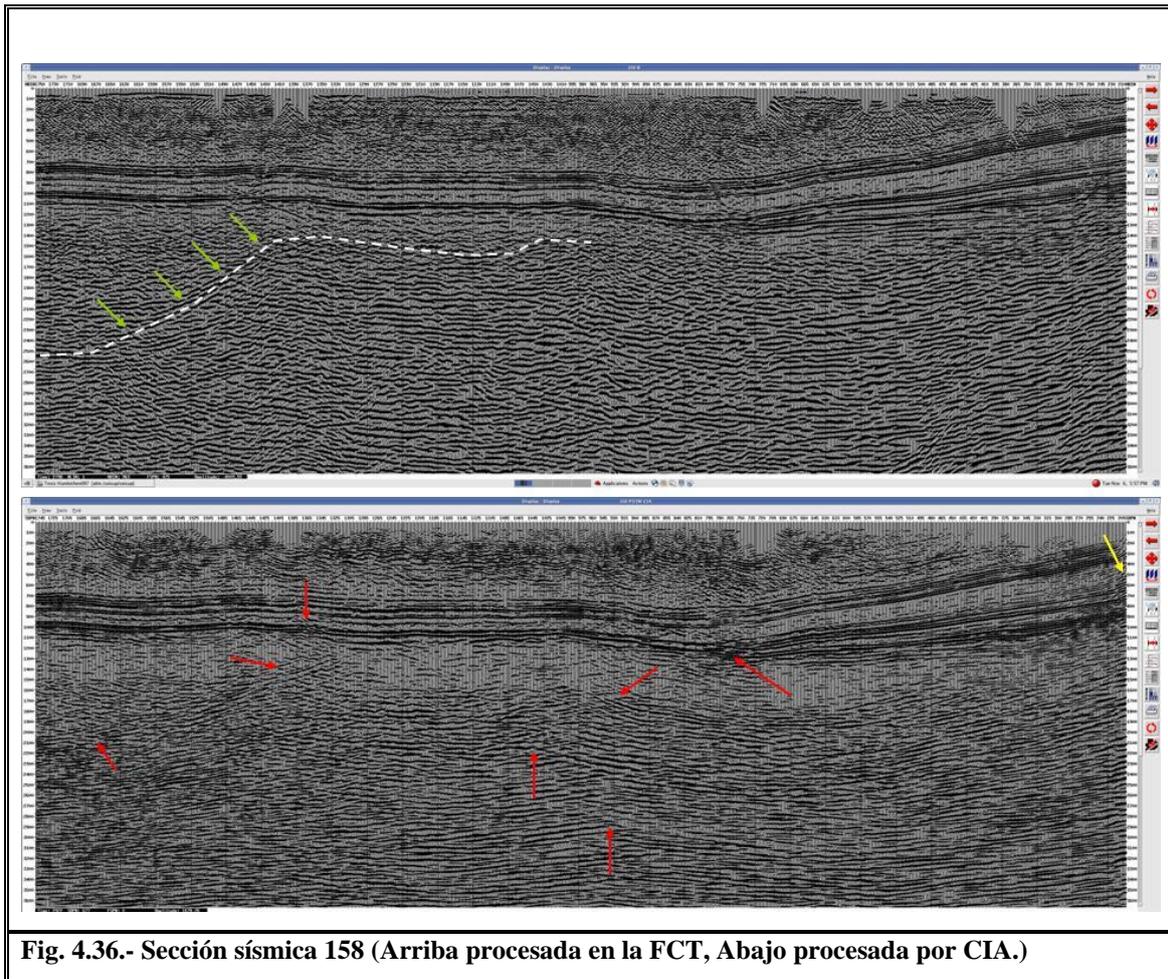


Fig. 4.35.- Sección Migrada por el método de Kirchhoff.

#### 4.13.- Resultados del procesado

Uno de los objetivos dentro de este trabajo fue el tratar de mejorar las líneas sísmicas con las que se trabajaron, a continuación se presenta una breve descripción de los resultados obtenidos.

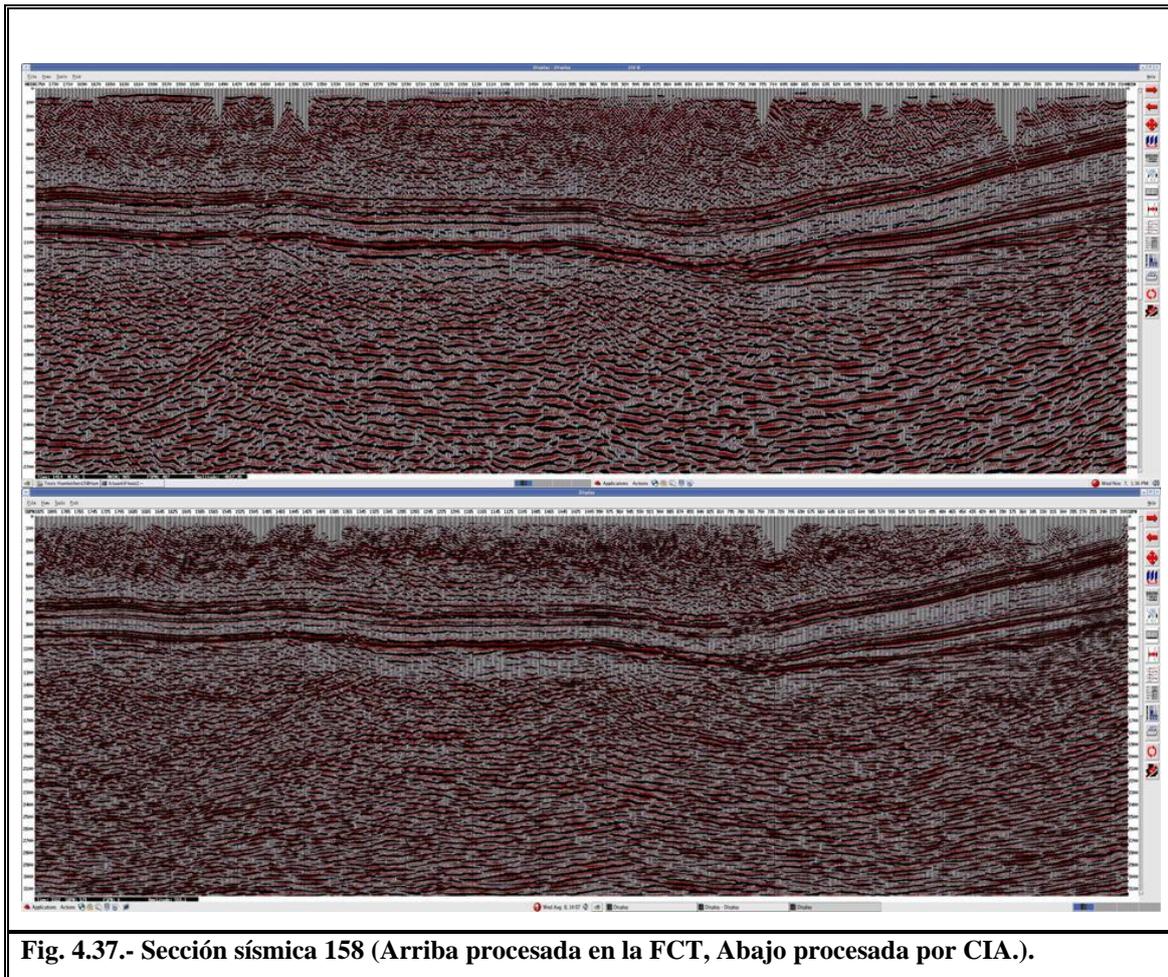
En la figura 4.36 se puede observar la línea sísmica 158, en la parte superior la línea procesada en el centro de procesado sísmico de la Facultad de Ciencias de la Tierra (FCT) y en la parte inferior la procesada por compañía, la información que se aprecia es básicamente la misma y para cuestiones de interpretar se pueden utilizar cualquiera de las dos secciones, en flechas verdes se señala un área en la cual se obtuvo mas información y se puntea con una línea en blanco, en la misma zona la sección procesada por compañía no cuenta con información y por el contrario presenta velocidades muy altas por lo que se generan sonrisas por sobremigración, las cuales están señaladas a lo largo de la sección en flechas rojas y en flechas amarillas zonas de ruido que se pudieron eliminar adecuadamente en la sección procesada en el CPS de esta facultad.



**Fig. 4.36.- Sección sísmica 158 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.)**

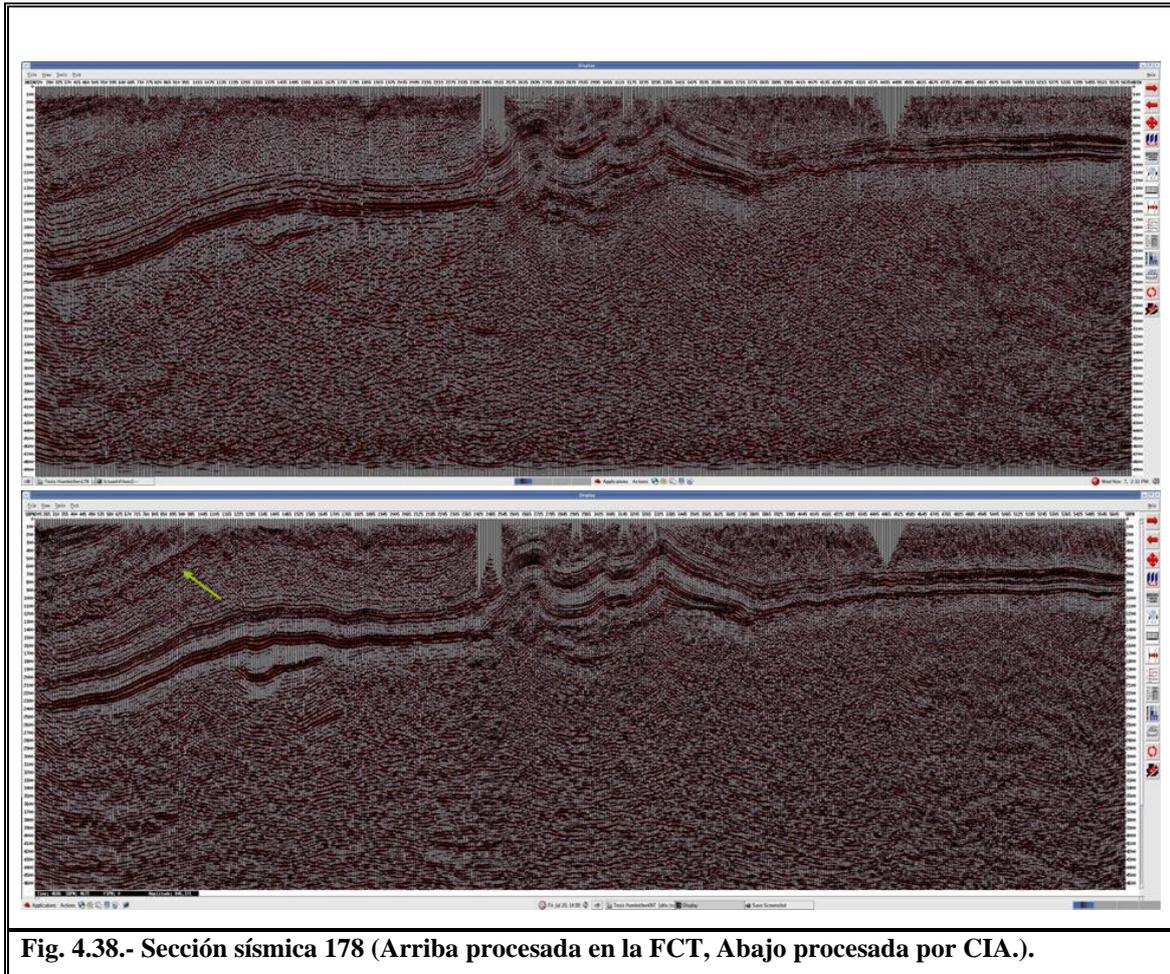
En la figura 4.37 se puede observar la sección sísmica 158 procesada en la FCT en la parte de arriba y procesada por compañía en la parte inferior.

En esta imagen se presenta el resultado final de la sección 158 donde se puede apreciar que el potencial del software que se tiene en esta facultad puede realizar trabajos tan buenos como los realizados en compañías con otro tipo de software y como se menciono anteriormente la calidad de las líneas es buena y se pueden utilizar cualquiera de las dos para realizar un trabajo de interpretación lo cual quiere decir que se a cumplido con uno de los objetivos de este trabajo, que fue probar la eficiencia de este software comparado con otro software de procesado.



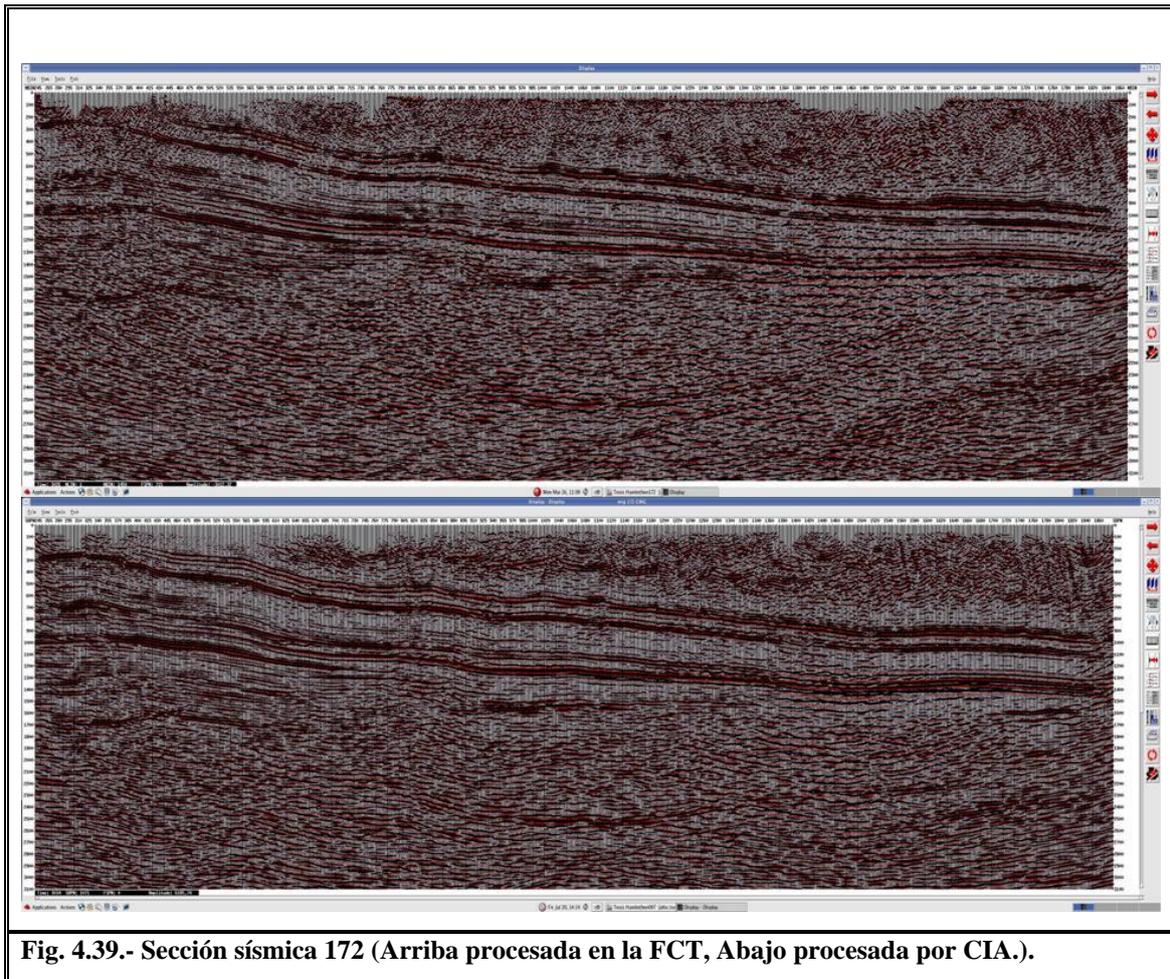
Es de gran importancia mencionar que en un principio se planteo como objetivo la mejora de las líneas ya que se esperaba que la información que se recibiría fuera información muy vieja, pero al recibir las secciones realizadas por la compañía se noto que fueron procesadas en el año 2005 y contaban con todos los procesos modernos que hay en día, lo cual dificulto mas la tarea de mejorar las líneas ya que de ser información de años atrás y por los adelantos que se tienen hoy día hubiese sido muy sencillo mejorarlas. También es necesario aclarar que Pemex Exploración y Producción proporciono las secciones sísmicas Pre-Apilamiento en Tiempo realizadas por la compañía encargada de realizar el proceso de las mismas en formato SEG-Y, del cual solo se obtuvo la imagen de las secciones migradas por la compañía con la finalidad de llevar un control de calidad e ir comparando esas imágenes con las generadas en el centro de procesado de esta facultad ya que el procesado de todas las líneas sísmicas que se realizaron para este trabajo se llevo a cabo desde datos crudos de campo hasta llegar a la migración Pre-Apilamiento en Tiempo.

A continuación se muestra la línea sísmica 178 en la figura 4.38 y al igual que en la figura anterior en la parte superior se observa la sección procesada en la FCT y en la parte de abajo la sección procesada por compañía. De la misma manera se señala aquí en flechas verdes una zona en donde ahora la sección procesada por compañía presenta más información que en la procesada en la FCT, el resto de la sección es bueno en ambas.



**Fig. 4.38.- Sección sísmica 178 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).**

En la figura 4.39 se puede apreciar la línea sísmica 172, procesada en la FCT en la parte superior y por compañía en la parte inferior. Realmente la calidad de ambas secciones es buena y en este caso no se observaron mejoras o defectos y para fines de interpretación se podría utilizar cualquiera de las dos secciones sísmicas.



**Fig. 4.39.-** Sección sísmica 172 (Arriba procesada en la FCT, Abajo procesada por CIA.).

En estos tres casos en donde una línea procesada en la FCT es un poco mejor que la de compañía, una de la compañía es mejor que la de la FCT y en este ultimo caso en el que la calidad de ambas es buena, en base a estos resultados se puede concluir que las herramientas con las que se cuenta en el Centro de Procesado Sísmico de esta facultad están al nivel de otros softwares comerciales y la mejora de la información radica totalmente en la forma en que el usuario trabaje y perfeccione la información con la que cuenta.

## 5.- Interpretación

La interpretación de las líneas del proyecto Benemérito-Linares Norte se llevo a cabo con el software Petrel de la compañía Schlumberger, inicialmente se tenían contempladas 5 líneas a interpretar, pero debido a la necesidad de realizar las configuraciones 3D en tiempo de las diferentes unidades estratigráficas presentes en el área de estudio, se decidió correlacionar los horizontes en todo el proyecto Benemérito-Linares Norte.

Los diferentes horizontes que se correlacionaron en las 30 líneas para este trabajo, corresponden a las siguientes formaciones y paleta de colores:

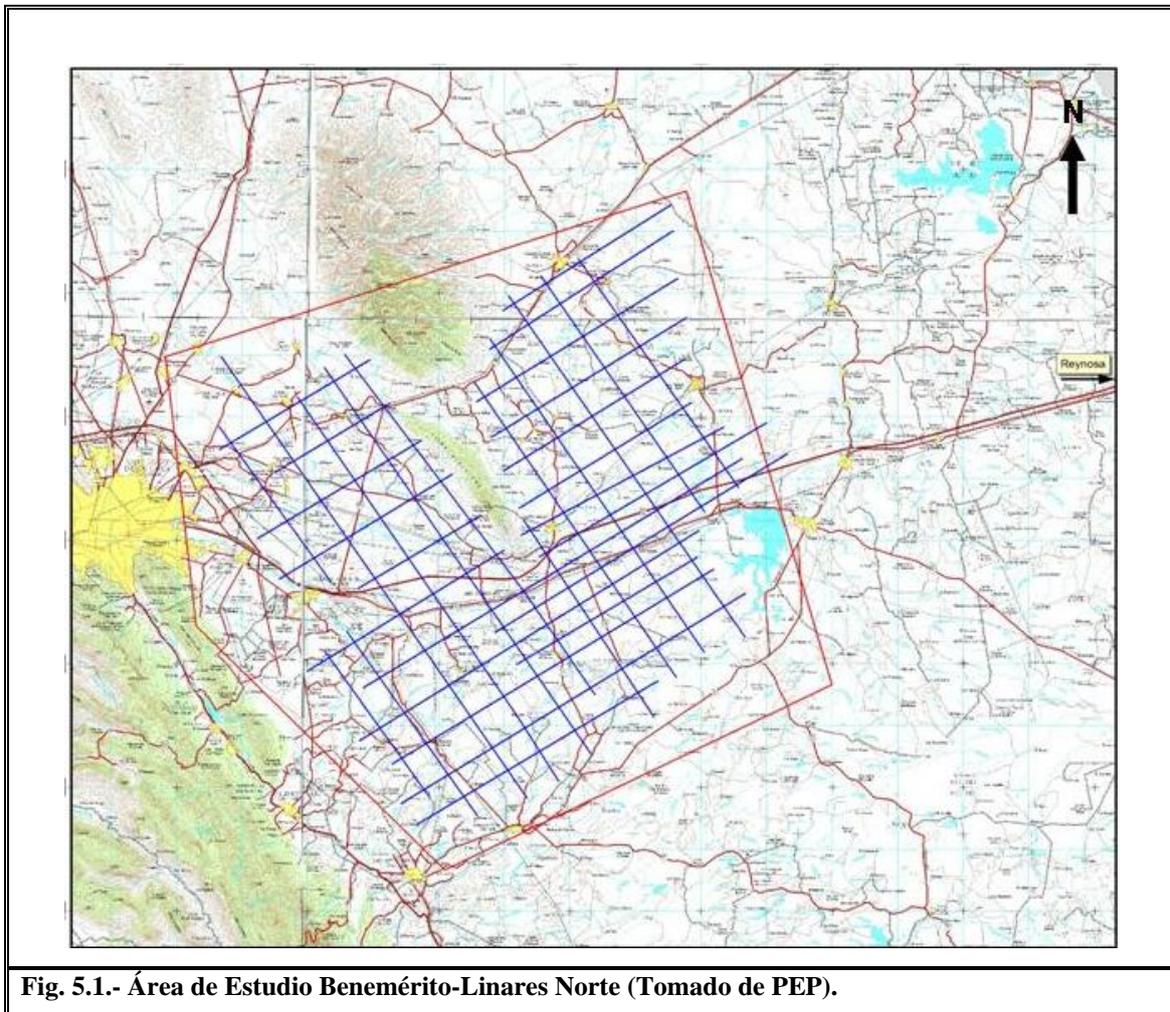


La metodología para realizar la interpretación marca que para tener certeza de cual es el horizonte o reflector al cual se le asignara cierta litología, se debe de contar con una gráfica de tiempo vs. profundidad ( $T_z$ ), con valores de densidad y registros sónicos para poder generar un sismograma sintético y así con base a los atributos sísmicos identificar de mejor manera que Formación corresponde a que reflector u horizonte.

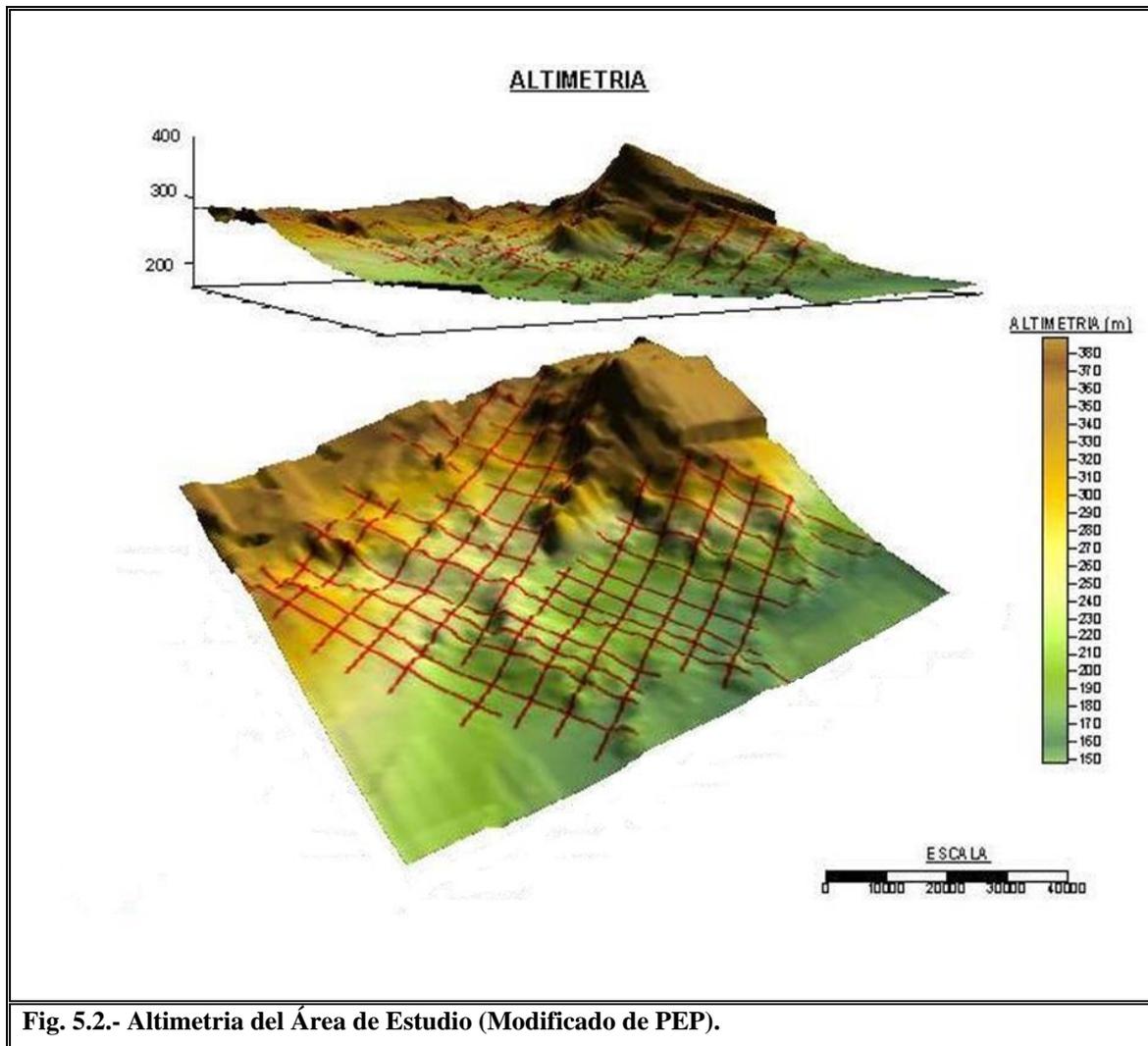
En ocasiones no es posible contar con ciertos atributos sísmicos (curvas  $T_z$ , registros sónicos, registros de densidad etc.), en estos casos se le da a la gráfica de tiempo vs. profundidad toda la credibilidad. En la mayoría de los estudios hay más de un pozo y esto es benéfico de manera tal que si no se cuenta con sismogramas sintéticos se pueden

tomar las dos gráficas  $T_z$  y observar si los horizontes son congruentes, esto quiere decir que estamos realizando bien la asignación de la litología a los horizontes, hay otras razones por las cuales los horizontes no puedan ser congruentes, los mas comunes son: pasos de fallas geológicas, problemas de procesado en la sección sísmica y problemas de MissTie, esto último se refiere a que toda o la mayoría de la sección sísmica estará desfasada en tiempo ya sea medio horizonte un horizonte entero o puede ser más, esto se debe a que en ocasiones todas las líneas de un levantamiento no son adquiridas por la misma compañía y por lo tanto varían los parámetros de adquisición.

El área de trabajo como ya se mencionó corresponde al proyecto Benemérito-Linares Norte, en la figura 5.1 se muestra la ubicación de dicho proyecto.



En la figura 5.2 se presenta la configuración de las elevaciones correspondientes al área Benemérito Linares Norte.



### 5.1.- Objetivo del levantamiento

En la porción central y occidental del área de Estudio se requiere adquirir datos sísmológicos en dos dimensiones, de buena calidad y de alta resolución, que permitan precisar el comportamiento estructural – estratigráfico del Cretácico Inferior y Jurásico en alineamientos observados entre los pozos Linares-1 y Benemérito-1 con el objetivo de encontrar acuíferos contra la Paleo península de Tamaulipas e Isla de San Carlos de cada una de las formaciones Jurásicas y Cretácicas y ubicar los sedimentos depositados en zonas de alta energía que son los más susceptibles de ser buenos receptáculos de hidrocarburos (Reporte interno, PEP).

- a) Para la porción central y oriental de área de estudio se requiere definir la posible presencia de cuerpos turbidíticos en el Paleoceno Midway.
- b) Confirmar la continuidad de estructuras tipo anticlinal hacia la parte sureste del área de Estudio, que permita evaluar en mejor posición estructural dolomías y calcarenitas de la Formación Zuloaga y Olvido del Jurásico Superior; así como rocas calcáreas dolomíticas fracturadas de la Formación Tamaulipas Inferior del Cretácico Inferior.

**Resultados de la Interpretación**

Esta sección se dividirá en cuatro partes que son: Descripción de pozos en el área, configuraciones en tiempo, descripción de líneas sísmicas y modelos de velocidades.

**5.2. - Descripción de pozos en el área**

Dentro del proyecto se contó con el apoyo de los pozos que se aprecian en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1.- Pozos dentro del área de estudio.**

<b>Benemérito-1</b>	<b>Margarita-1</b>
<b>Carbajal-1</b>	<b>Pesquerías-1 y 2</b>
<b>Carruaje-1</b>	<b>Ramones-1</b>
<b>Cerralvo-1A</b>	<b>Refinería-1</b>
<b>Fresnito-1</b>	<b>Vapor-1</b>
<b>Herrerías-1,2 y 101</b>	-----

Dichos pozos se encuentran entre la Sierra de la Silla N.L. y la Sierra de Papagayos, los restantes se ubican hacia el Oriente de la Sierra de Papagayos. A continuación se hace una breve descripción de lo que se reporta en cada uno de ellos.

### 5.2.1.- Pozo Benemérito-1

Este pozo se encuentra ubicado en la provincia paleogeográfica conocida como Golfo de Sabinas, en las cercanías del Portal del Cadereyta. Anterior a la perforación objeto de este pozo, se habían perforado dentro de la provincia citada cinco sondeos estratigráficos tendientes a determinar el patrón sedimentario, así como para delimitar la paleogeografía del Jurásico y Cretácico, para estar en posibilidad de poder fijar las localizaciones con objetivo económico-petrolero (PEP, reporte final de pozo). En la figura 5.3 se muestra la ubicación del pozo sobre la línea 097, los números que se observan corresponden a los contactos litológicos observados.

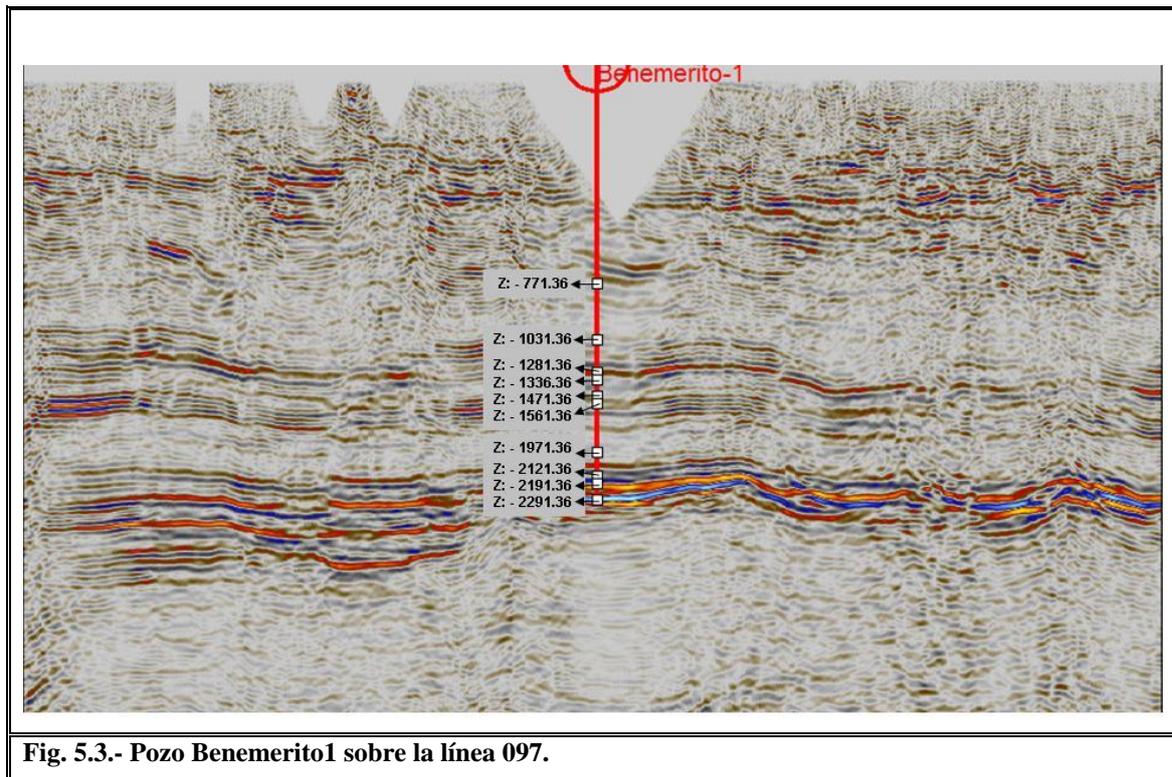


Fig. 5.3.- Pozo Benemerito1 sobre la línea 097.

El objetivo de esta perforación fue estudiar la estratigrafía de esta área, así como investigar las posibilidades petrolíferas de las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior que se encuentran marginadas al Sur-Este del Golfo de Sabinas y que según los estudios que apoyaron la localización, hacia esta localidad se acuñan y podrían presentar zonas marinas de alta a media energía, con presencia de calizas bioclásticas o con aloquímicos lixiviados que fueran capaces de contener hidrocarburos comercialmente explotables.

Por correlación con los pozos circunvecinos este pozo se encuentra más abajo que el Ramones-1, en el orden de 1200 m a nivel de la Formación Olvido (2460 m), así también más abajo que el pozo Carruaje-1. Después de la profundidad de 2500 m la correlación eléctrica desaparece (PEP, reporte final de pozo).

La tabla 5.2 que se presenta a continuación corresponde al comportamiento de espesores entre los pozos Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras-101, a continuación se describe la información de las columnas registradas por los pozos hasta la Formación Olvido del Jurásico Superior:

**Tabla 5.2.- Formaciones y espesores entre los pozos Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras- 101.**

Formación	Benemérito-1	Ramones-1	Herreras-101
Fm. Méndez	1040 Metros	Aflora	1250 Metros
Fm. San Felipe	260 Metros	Aflora	230 Metros
Fm. Agua Nueva	250 Metros	Aflora	205 Metros
Fm. Cuesta del Cura	55 Metros	Aflora	55 Metros
Fm. Aurora	135 Metros	119 Metros	90 Metros
Fm. La Peña	90 Metros	35 Metros	80 Metros
Fm. Cupido	410 Metros	503 Metros	400 Metros
Fm. Taraises	160 Metros	168 Metros	245 Metros
Fm. La Casita	60 Metros	435 Metros	120 Metros
Fm. Olvido	90 Metros	850 Metros	700 Metros

En la figura 5.4 se puede observar un esquema en el que se muestra la correlación entre los pozos: Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras 101. El esquema se realizó de acuerdo a algunos datos obtenidos de dichos pozos, hasta los 3500 metros de profundidad y hasta la Formación Olvido del Jurásico Superior.

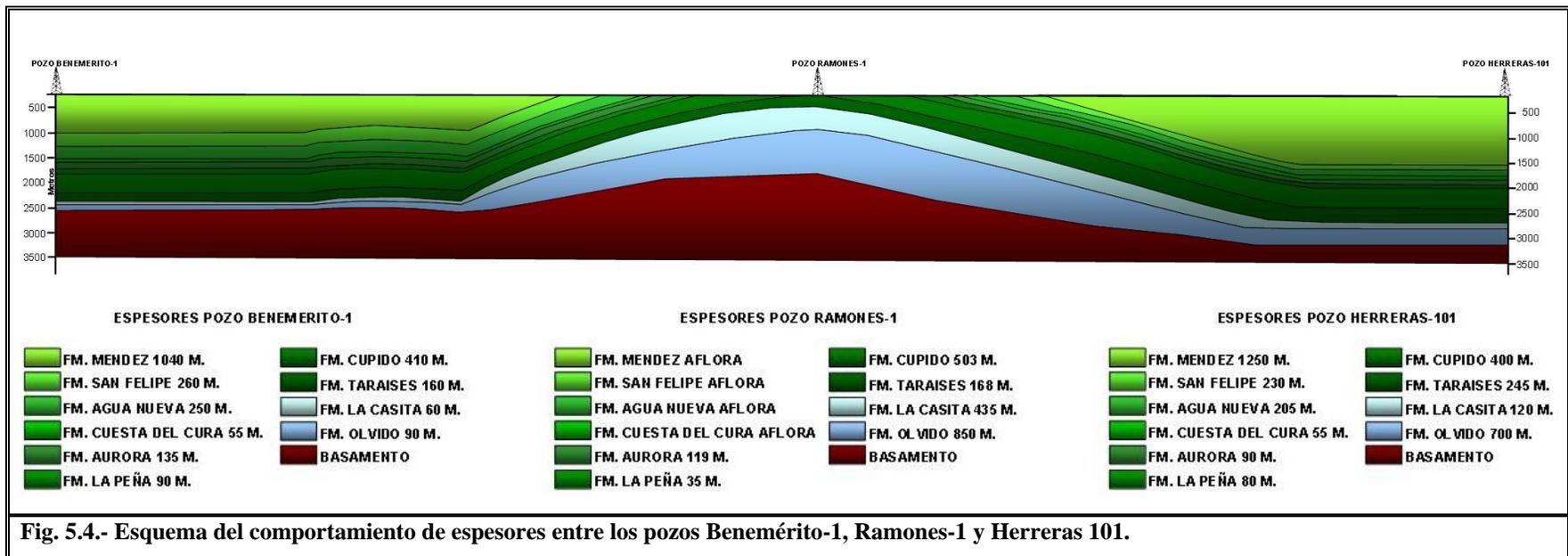


Fig. 5.4.- Esquema del comportamiento de espesores entre los pozos Benemérito-1, Ramones-1 y Herreras 101.

## Estratigrafía

La secuencia geológica cortada por este pozo comprende formaciones del Cretácico Superior al Jurásico Superior, habiendo terminado este en rocas ígneas clasificadas como rocas graníticas. La edad de estas rocas, determinada en el laboratorio fue de  $138 \pm 9$  millones de años, sin embargo por las consideraciones estructurales y estratigráficas puede asumirse que la determinación de la edad no es correcta, habiendo mayor evidencia de que estas son preexistentes a la sedimentación. El basamento es considerado Granodiorítico según el reporte del pozo y coincide con lo reportado por James Lee Wilson (1990) y Eguiluz de Antuñano (2001) para este mismo pozo y para dos pozos cercanos que son Linares-1 y Terán-1

La columna en cuestión se comporta normalmente, interrumpiéndose esta por la presencia del elemento positivo compuesto por rocas ígneas. A continuación se describirán cada una de las formaciones cortadas (PEP, reporte final de pozo).

Basamento Granodiorítico: 2560 – 2600 m.

Las conclusiones para definir como basamento a esta unidad fueron: acuñaamiento de las formaciones suprayacentes; la presencia de clásticos de cuarzo en las formaciones jurásicas, lo que corrobora la preexistencia de dicho positivo basal al depósito de las formaciones jurásicas.

Formación Olvido (Kimmeridgiano Inferior): 2456 – 2560 m.

Esta Formación está superyaciendo directamente al basamento granítico, durante el depósito de la porción inferior de la Formación Olvido, el área estaba constituida por el elemento positivo.

Litológicamente la Formación Olvido esta formada por rocas carbonatadas de tipo *packstone* a *grainstone* de pelets, de coloraciones gris oscuro a café crema con delgadas

intercalaciones de lutita, limolita y arenisca; así como delgadas capas de anhidrita de coloraciones verde claro; hacia las proximidades con el basamento el material es arcilloso y cuarcífero, derivado posiblemente de alguna parte positiva relativamente cercana durante el depósito de esta Formación. Los *grainstones* y *packstones* cortados se presentan compactos y cementados por calcita espática, por procesos diagenéticos posteriores al depósito.

El intervalo cortado de la Formación Olvido en su miembro superior corresponde al patrón sedimentario regional. El escaso desarrollo de esta Formación puede deberse a que en el área en que se ubico esta perforación no hubo condiciones de depósito para los sedimentos correspondientes.

Es posible que la edad cronológica determinada para las rocas de tipo ígneo intrusivo no sea correcta, ya que si se hubiera efectuado este acontecimiento en el Cretácico Inferior – Jurásico Superior, se hubiera tenido evidencia de metamorfismo en sedimentos de la base de la Formación Olvido en contacto con el mencionado intrusivo.

El ambiente de depósito de esta Formación correspondió a un nivel batimétrico comprendido dentro de la plataforma de mareas, desde la submarea a la supramarea (sabkhas) evidenciándose lo anterior por la presencia de sedimentos con estructuras características de este ambiente (PEP, reporte final de pozo). En la figura 5.5 se puede observar la columna estratigráfica reportada dentro del el pozo Benemérito-1.

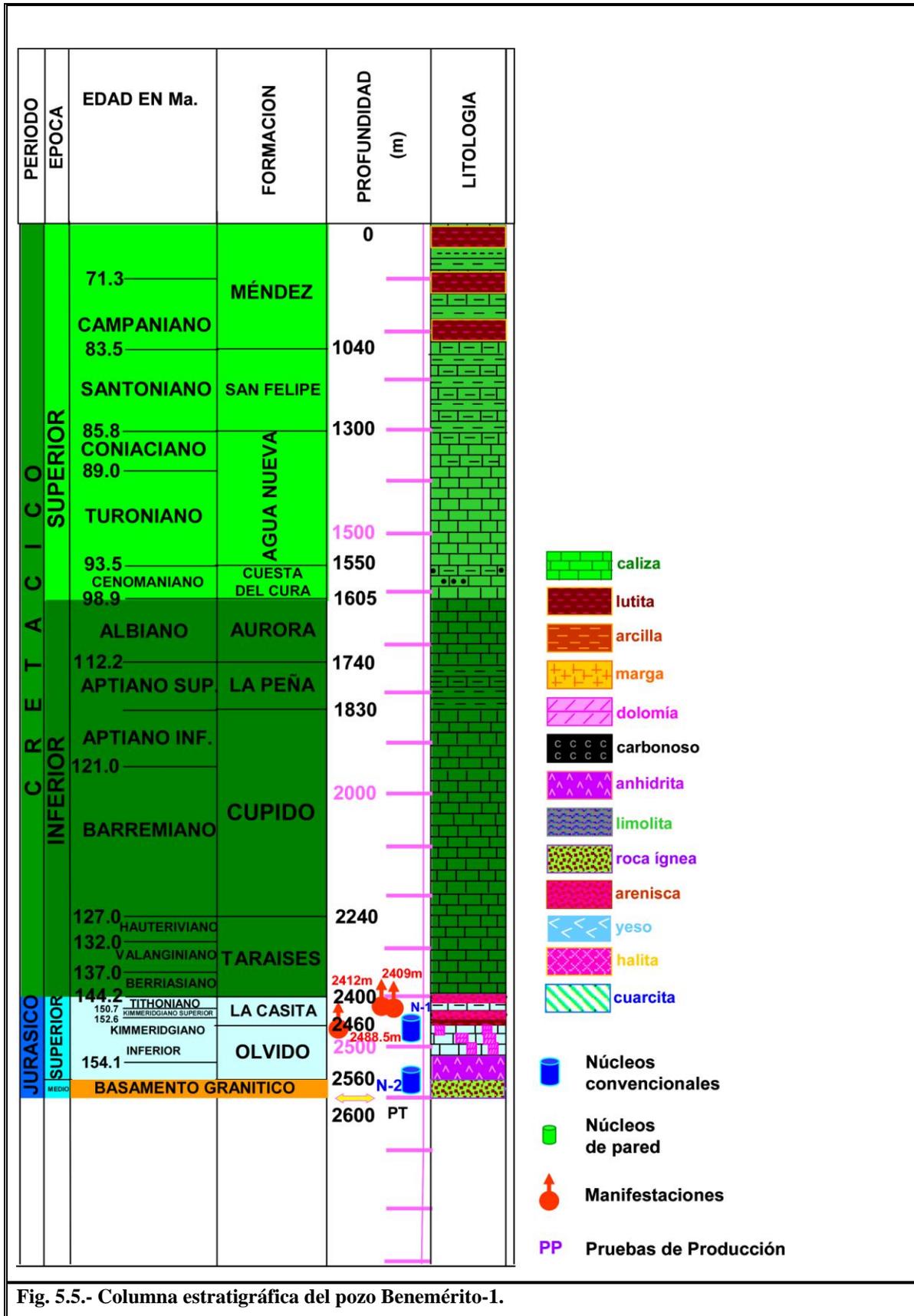


Fig. 5.5.- Columna estratigráfica del pozo Benemérito-1.

Formación La Casita (Kimmeridgiano Inferior): 2400 – 2460 m.

La Formación La Casita superyace normalmente a la Formación Olvido e infrayace a la Formación Taraises. El espesor cortado de esta Formación fue de 60 m considerablemente menor que el espesor cortado en los pozos Carruaje-1, que fue de 115 m y en el pozo Margarita-1 de 220 m esta diferencia se debe a que durante el depósito de la Formación La Casita, el área en que se localiza este pozo estaba estructuralmente más alto que los pozos mencionados por efecto de un positivo preexistente.

Litológicamente esta compuesta por capas de lutita negra carbonosa variando de ligeramente calcárea a calcárea. El ambiente depositacional de estos sedimentos corresponde a una batimetría de cuenca.

Formación Taraises (Necomiano Medio-Necomiano Inferior): 2240 – 2400 m.

Esta Formación corresponde a la base del cretácico que descansa normalmente sobre el Jurásico Superior (Formación La Casita). Litológicamente esta Formación está integrada por potentes desarrollos de rocas carbonatadas con esporádicas capas de lutitas, las primeras son del tipo *mudstone* de color gris oscuro parcialmente dolomitizado, en partes ligeramente arcilloso con cristales de pirita diseminados. Las capas de lutita son de color gris oscuro a negro, carbonosa y de estructura laminar. El ambiente de depósito de estos sedimentos corresponde a una batimetría de cuenca.

Formación Cupido (Hauteriviano): 1830 – 2440 m.

Esta Formación se encuentra descansando normalmente sobre la Formación Taraises e infrayaciendo en la misma forma a la Formación La Peña. El espesor cortado fue de 410 m ligeramente mayor de los cortados en el pozo Margarita-1 que fue de 380 m y menor del cortado en el Carruaje-1 que fue de 455 m (PEP, reporte final de pozo).

Litológicamente esta Formación esta integrada por potentes paquetes de rocas carbonatadas de tipo *mudstone*, en partes se observa parcialmente dolomitizado de coloraciones gris oscuro a café crema. El ambiente de depósito de esta Formación fue a un nivel batimétrico correspondiente a cuenca.

Formación La Peña (Aptiano Superior): 1740 – 1830 m.

El espesor cortado de esta Formación fue de 90 m ligeramente mas potente que el cortado en el pozo Herreras-1, que fue de 80 m, en el Carruaje-1 de 85 m y en el Margarita-1 de 80 m. La poca variación en su espesor da idea de que en el área de depósito no existían accidentes topográficos de importancia para esta edad.

Litológicamente esta Formación esta integrada por rocas carbonatadas de tipo *mudstone* color gris oscuro a negro, en partes carbonoso presentado como material secundario calcita que rellena fracturas.

El tipo de sedimentos indica que el ambiente de depósito correspondió a una batimetría de plataforma profunda a cuenca. La calcita sello las fracturas originadas por tectonismo posterior al depósito.

Cretácico Aurora (Albiano Medio – Aptiano Superior): 1605 – 1740 m.

La Formación Aurora descansa normalmente sobre la Formación La Peña y subyace a la Formación Cuesta del Cura. El espesor cortado en esta localización fue de 135 m que comparado con los espesores medios en la Sierra de Picachos (205 m) resulta que el espesor de esta Formación se incrementa hacia el NE y NW de este pozo.

Litológicamente esta integrada por rocas carbonatadas del tipo *mudstone* de color gris claro a café crema y calcita hasta en un 10 %, esta ultima se encuentra relleno de fracturas. La litología indica que el ambiente de depósito corresponde a un nivel batimétrico de plataforma, con muy poca variación (PEP, reporte final de pozo).

Formación Cuesta del Cura (Cenomaniano Inferior – Albiano Superior): 1550 – 1605 m.

La Formación Cuesta del Cura, se encuentra en esta localización, descansando sobre la Formación Aurora y subyace a la Formación Agua Nueva, de acuerdo al patrón sedimentario de la localidad, el espesor de esta fue de 55 m, habiéndose cortado 105 m en el pozo Margarita-1, 50 m en el pozo Carruaje-1 y 95 m en el pozo Ramones-1.

Los datos anteriores nos indican que esta Formación al igual que la que sobreyace tiende a engrosarse hacia el NE y NW de esta localización (cuando menos localmente). Litológicamente esta formada por rocas carbonatadas del tipo *mudstone* de color gris a gris claro teniendo como material secundario pedernal y calcita.

Formación Agua Nueva (Huroniano-Cenomaniano Superior): 1300 – 1550 m.

Esta Formación subyace normalmente a la Formación San Felipe, y descansa sobre la Formación Cuesta del Cura, y en esta localización el espesor cortado fue de 250 m, siendo mayor que el cortado en el pozo Carruaje-1 que solo fue de 115 m, y en el pozo Margarita-1 de 230 m, según la ubicación de los pozos mencionados, esta Formación es mas potente al oeste de las mismas.

Litológicamente esta integrada por rocas carbonatadas de tipo *mudstone* en partes arcilloso de color gris a gris oscuro y como material secundario calcita que rellena pequeñas fracturas y cristales de pirita diseminadas. El ambiente de depósito de estos sedimentos corresponde a una batimetría de cuenca profunda.

Formación San Felipe (Santoniano - Coniaciano): 1040 – 1300 m.

Esta Formación subyace a la Formación Méndez del Cretácico Superior, en esta localidad se atraveso un espesor de 260 m, mayor que el cortado en los pozos Carruaje-1 y Margarita-1 que fue de 120 m y 95 m respectivamente. De acuerdo con su posición geográfica, esta Formación se engrosa hacia el Oeste (PEP, reporte final de pozo).

Litológicamente esta Formación esta integrada por rocas del tipo marga de color gris con intercalaciones de lutitas gris oscuro de estructura semilaminar, ligeramente calcárea con calcita como material secundario que rellena pequeñas fracturas y trazas de bentonita verde pálido y crema claro. El ambiente de depósitos de estos sedimentos corresponde a una batimetría de cuenca.

Formación Méndez (Maestrichtiano – Campaneano): 0 – 1040 m.

Esta Formación correspondiente a la cima del Cretácico Superior aflorante en el área de este pozo, se encuentra descansando normal a la Formación San Felipe. El espesor cortado por esta perforación fue de 1040 m, y en los pozos Carruaje-1, Margarita-1 y Herreras-1, 710 m, 800 m y 1565 m respectivamente. Por efectos de el levantamiento de la Sierra de Ramones, esta Formación fue posiblemente erosionada entre los pozos Herreras-1 y Benemérito-1. Litológicamente esta Formación esta compuesta por potentes desarrollos de lutitas de color gris oscuro con intercalaciones de marga hacia el contacto con la Formación San Felipe (PEP, reporte final de pozo).

Durante la perforación de dicho pozo no hubo ninguna manifestación de hidrocarburos que ameritara hacer más pruebas ya que con los cálculos de los registros geofísicos no se apreciaron cuerpos con posibilidades de producir hidrocarburos en forma comercial.

### **5.2.2.- Pozo Carbajal-1**

El pozo Carbajal-1, se encuentra localizado en terrenos de la Hacienda de Benavides Grande, municipio de los Herreras N.L., a una distancia de 9272.31 m al norte del pozo Herreras-1. Estructuralmente este pozo quedo localizado sobre un anticlinal delineado por sismología a 2000 m de profundidad, presenta cierre contra falla en su flanco occidental con un claro buzamiento en el flanco oriental (PEP, reporte final de pozo).

El objetivo de este pozo, fue probar en mejores condiciones estructurales los horizontes eléctricos atractivos, cortados en los pozos Herreras-1 y 2 y principalmente explorar el

intervalo 2030-2038 m en el que se registro flujo de agua salada cuya presión abierta alcanzo 32 kgs/cm<sup>2</sup>.

El pozo Carbajal-1 a la profundidad de 2632 m se encuentra estructuralmente mas alto que los pozos Cerralvo-1 y Herreras-1, 41 m y 136 m respectivamente, a la profundidad de 2828 m se encuentra 144.1 m mas alto que el pozo Herreras 2.

Según los análisis de los registros eléctricos, microregistro de inducción, radioactivo y sónico, efectuados por el departamento de ingeniería de yacimientos se expone lo siguiente:

- El intervalo 147-905 m no representa ningún desarrollo con características atractivas en cuanto a contenido de hidrocarburos.
- El intervalo 905-1809 m no tiene condiciones favorables para la acumulación de hidrocarburos.
- El intervalo 1809-2504 m no manifiesta cuerpos recomendables referentes a hidrocarburos.
- El intervalo 2504-2999 m según los registros de inducción y sónico, denotan formaciones compactas, sin acumulación. Los cambios en la resistividad son causados por cambios litológicos.
- El intervalo 3000-3200 m no se aprecia ningún desarrollo que presente características de ser acumulador de hidrocarburos.
- El intervalo 3201-3247 m carece de posibilidades de almacenar fluidos.

El cuerpo encontrado a 2500 m B.K.B., es el único horizonte eléctrico en la sección de este pozo que se considero con posibilidades de acumular hidrocarburos (PEP, reporte final de pozo).

A continuación se describen las litologías que este pozo cortó de lo más viejo a lo más joven:

En este pozo a la profundidad de 2900 m se reporto la presencia de un material cuarzoso de color gris claro, con rayado blanco, el cual fue considerado como posible Paleozoico, no fue posible un amplio estudio litológico, debido a que el pozo fue suspendido por accidente mecánico a la profundidad de 2970 m (PEP, reporte final de pozo).

Formación Olvido: 2579 m.

A la profundidad de 2786 m se reporto la presencia de una serie de calizas arcillosas de color gris claro, en partes fracturadas, parcialmente recristalizadas, interestratificadas con calizas de color gris claro oolíticas, observándose las oolítas de tamaño medio a grueso.

Tomando como referencia el espesor cortado de la Formación La Casita en los pozos circunvecinos y principalmente el cambio litológico observado, hace supones que la profundidad de 2786 m, nos esta representando litológicamente el contacto La Casita – Olvido, en la sección de este pozo.

Formación La Casita: 2550 m.

Los sedimentos de esta edad fueron determinados en la sección de este pozo a la profundidad de 2550 m, habiendo alcanzado un espesor de 236 m aproximadamente. La sección eléctrica no presenta características atractivas en canto a contenido de fluidos.

A la profundidad de 2550 m se observo un cambio litológico notable, consistente en la disminución en el porcentaje de una serie de calizas, gris oscuro microcristalinas, aumentando considerablemente el porcentaje de lutitas negras altamente carbonosas, este cambio litológico fue considerado como la zona transicional Taraises – La Casita.

Formación Taraises: 2220 m.

Las rocas de la Formación Taraises fueron identificadas a la profundidad de 2220 m, habiendo alcanzado un espesor de 330 m.

Está constituida de calizas color café grisáceo y café oscuro, de textura criptocristalina a densa, parcialmente fracturada con intercalaciones de caliza gris oscuro a negro, arcillosa microcristalina con intercalaciones muy delgadas de lutitas negras y bentonitas gris acero piritizada. Dentro de esta Formación se cortó el núcleo de fondo No. 4, sin manifestación de hidrocarburos.

Las características litológicas observadas en esta sección representan mucha semejanza con los sedimentos pertenecientes a la Formación Taraises en los pozos cercanos.

Formación Cupido: 1930 m.

La Formación Cupido fue identificada en la sección de este pozo a la profundidad de 1930 m, cima que fue fijada paleontológica y eléctricamente.

Litológicamente se encuentra constituida por una serie de calizas de color café grisáceo a gris textura criptocristalina a densa, parcialmente fracturada con intercalaciones muy delgadas de lutitas negras y bentonita gris.

En los pozos perforados en esta área, la Formación Cupido ha manifestado características atractivas en cuanto a posible acumulación de fluidos.

En los Herreras 1 y 2, se observaron sedimentos pertenecientes a esta Formación, mostrando porosidad y en algunos casos manifestación de hidrocarburos. Dentro de esta Formación fueron recomendados los intervalos 1950 – 2222 y 2227 – 2495, para efectuar en ellos pruebas de Formación y producción, basándose en los diferentes resultados eléctricos obtenidos, los cuales presentaron características favorables para la acumulación de hidrocarburos, los resultados fueron desfavorables debido principalmente, a que las condiciones de porosidad y permeabilidad en los sedimentos se manifiestan pobres.

Formación La Peña: 1860 m.

Esta Formación se determinó a la profundidad de 1860 m, habiendo alcanzado un espesor de 70 m, litológicamente se encuentra representada por calizas de color gris oscuro a negra, arcillosa, densas, fracturadas y en parte recristalizadas, con intercalaciones de lutitas negras bituminosas.

La Formación La Peña, corresponde al horizonte denominado Otates en la columna estratigráfica de la cuenca Tampico-Misantla.

Formación Aurora: 1785 m.

Esta Formación fue determinada en la sección de este pozo a la profundidad de 1785 m, habiendo alcanzado un espesor de 75 m, litológicamente esta compuesta por una serie de calizas de color café grisáceo, de textura criptocristalina a densa, parcialmente recristalizada, con líneas estilolíticas, intercalaciones de caliza café, bandeada, arcillosa y fracturada. En los pozos cercanos esta Formación alcanza espesores de 85 m en el pozo Cerralvo-1 y 55 m en el pozo Herreras-1 (PEP, reporte final de pozo).

Formación Cuesta del Cura: 1715 m.

Las rocas que identifican esta Formación fueron cortadas a la profundidad de 1715 m, litológicamente esta representada por una serie de calizas color gris oscuro a negro de textura microcristalina, arcillosas, parcialmente recristalizadas con intercalaciones muy delgadas de caliza café grisáceo arcillosa, bentonita gris y nódulos de pedernal café.

Eléctricamente esta Formación fue fijada a la profundidad de 1699 m, en los pozos cercanos Cerralvo-1, fue identificada esta Formación a 1785 m, con la presencia de pedernal de color gris oscuro, alcanzando un espesor de 65 m siendo sus componentes

litológicos principalmente calizas de color gris claro, microcristalinas. En este pozo alcanzo un espesor de 70 m.

Formación Eagle Ford: 1480 m.

La cima de esta Formación, fue determinada mediante un notable cambio litológico y por sus características eléctricas diferentes a la Formación suprayacente.

Litológicamente esta compuesta por calizas de color gris oscuro a negro de textura microcristalina, arcillosas, en partes bandeadas, parcialmente recristalizadas, capas muy delgadas de lutitas negras carbonosas y bentonita gris, verde claro y blanca, el espesor cortado en este pozo fue de 235 m, en los pozos cercanos Herreras 1 y 2, Cerralvo-1, los espesores fueron de 200 a 235 m respectivamente, siendo sus características litológicas muy semejantes.

Formación Austin: 1290 m.

La Formación Austin, litologicamente se presenta en la sección de este pozo con las siguientes características litológicas, calizas de color grisáceo, arcillosas, densas, con intercalaciones muy delgadas de bentonita blanca, en la parte inferior se presentan una serie de calizas de color gris oscuro a café oscuro, arcillosas y en partes bandeadas.

La cima de esta Formación fue comprobada mediante registro eléctrico y fauna, su espesor fue de 190 m (PEP, reporte final de pozo).

Formación Taylor: 500 m.

Los sedimentos de edad campaniano se determinaron paleontológicamente a la profundidad de 500 m, habiendo alcanzado un espesor en la sección de este pozo de 790 m.

Litológicamente se encuentra constituida por lutitas calcáreas, margas de color gris oscuro. La litología encontrada en esta Formación presenta características muy semejantes a la Formación suprayacente.

En algunos casos las características litológicas y paleontológicas no permiten establecer diferencia entre esta Formación y la suprayacente, lo que origina que se denominen grupo Navarro-Taylor, en igual forma para fines de correlación, estratigráficamente se considera como Formación Méndez.

Formación Navarro: 80 m.

Los sedimentos de esta Formación fueron determinados a la profundidad de 80 m, habiendo alcanzado un espesor de 420 m, litológicamente esta formada en su mayor parte por una serie de lutitas calcáreas de color gris verde oscuro a gris oscuro con intercalaciones delgadas de lutitas bentoníticas y bentonita de color gris oscuro.

Se infiere que hacia la parte Sur-Este de esta estructura, esta Formación aumenta su espesor, en el pozo Herreras-1 no fue diferenciada del grupo Navarro-Taylor, sin embargo en el Herreras-2, alcanzo un espesor de 645 m, con características litológicas muy semejantes (PEP, reporte final de pozo).

Formación Paleoceno-Midway: Aflora

Estos sedimentos se encuentran aflorando en el area de este pozo, alcanzo un espesor de 80 m, la litologia predominante esta representada por lutitas de color gris oscuro con alta dureza.

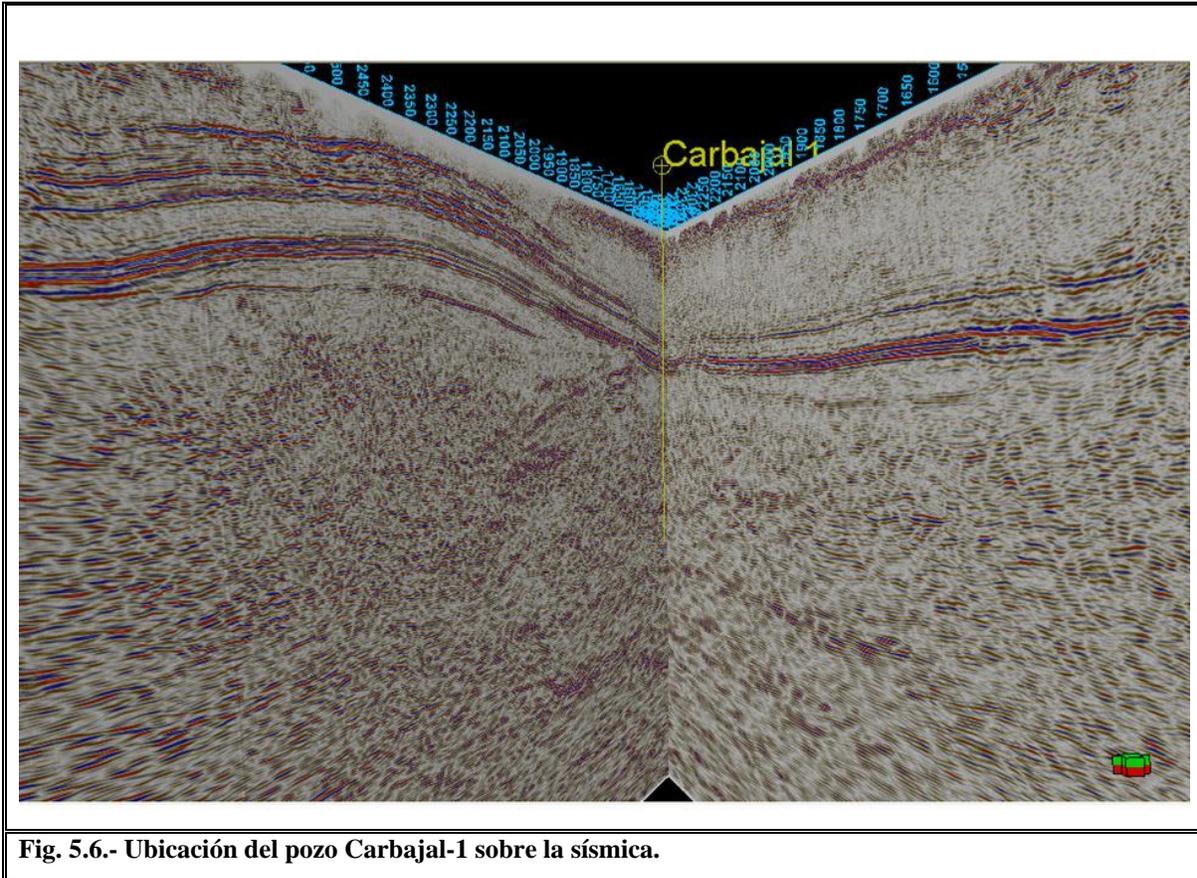
Esta localización estuvo basada en un estudio sísmico, definida posiblemente en la porción más alta de la estructura de tipo anticlinal, con su eje orientado NE-SW, con un cierre de 75 m aproximadamente, y en su flanco occidental con un cierre contra falla (PEP, reporte final de pozo).

Paleogeográficamente se encuentra localizado en el margen oriental de la Península de Tamaulipas. Este pozo fue programado a 3000 m de profundidad, al llegar a esta se profundizo hasta los 3200 m quedando finalmente en 3246 m.

Los resultados obtenidos mediante registros, valores graficados, basados en el grado de porosidad, permeabilidad y saturación de las diferentes formaciones atravesadas, muestran condiciones positivas para la acumulación de fluidos.

Sin embargo los resultados finales obtenidos en las diferentes pruebas de Formación y producción, nos indican que el grado de permeabilidad en los sedimentos se estima desde el punto de vista comercial como nulos (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.6 se muestra la ubicación del pozo Carbajal-1 sobre la sísmica, lamentablemente no lo tenemos exactamente sobre las líneas pero se encuentra muy cercano a ellas, por lo que se aprecia el pozo se encuentra en el flanco Oriental de la estructura, se muestra la imagen sin los horizontes para fines de apreciar bien la trayectoria del pozo.



**Fig. 5.6.- Ubicación del pozo Carbajal-1 sobre la sísmica.**

En la figura 5.7 se tiene la columna estratigráfica cortada por este pozo así como algunos puntos en los que se tomaron núcleos y se menciona en donde hubo manifestación en caso de haberse presentado.

Las formaciones reportadas en el fueron las siguientes: Formación Midway, Formación Navarro, Formación Taylor, Formación Austin, Formación Eagle Ford, Formación Cuesta del Cura, Formación Aurora, Formación La Peña, Formación Cupido, Formación Taraises, Formación La Casita y Formación Olvido.

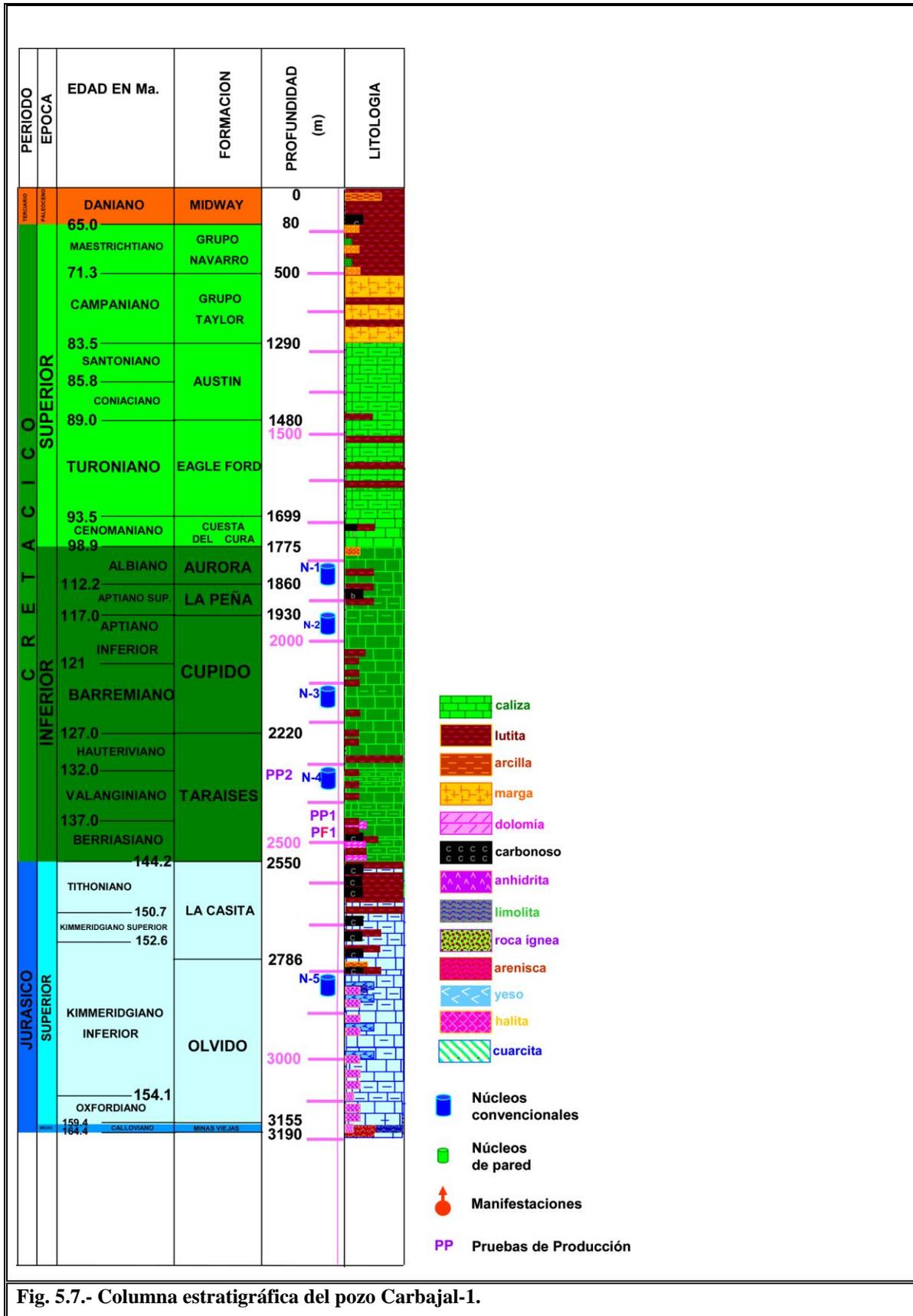


Fig. 5.7.- Columna estratigráfica del pozo Carbajal-1.

### 5.2.3.- Pozo Carruaje-1

La columna comprendida por este pozo es similar a la del pozo Benemérito-1, por lo que nos limitaremos a mencionar solamente algunas de sus características mas importantes a nivel económico-petrolero.

Por características geofísicas y litológicas destacan las siguientes secciones:

- De 1880-1995 m.- Sección arcillosa de resistividad baja y de escaso desarrollo de la curva de rayos gamma.
- De 1995-2350 m.- Sección integrada por mudstone-wackstone, lutita y anhidrita.
- De 2350-2500 m.- Intervalo compuesto por halita.
- De 2500-2565 m.- Intervalo compuesto por mudstone arcilloso, con intercalaciones de anhidrita.
- De 2565-2785 m.- Este intervalo esta compuesto por potentes desarrollos de halita con intercalaciones de anhidrita y packstone-grainstone.
- De 2785-3120 m.- Esta sección esta compuesta por intercalaciones de mudstone-wackstone; grainstone parcialmente dolomitizado, lutita limolítica, arenisca y material evaporítico que tiende a desaparecer con la profundidad.

El análisis cuantitativo realizado con los registros geofísicos, señalo que la sección atravesada por este pozo carece de cuerpos con posibilidad de producir hidrocarburos comercialmente explotables (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.8 se muestra la columna estratigráfica atravesada por el pozo Carruaje-1. A diferencia de la mayoría de los otros pozos aquí se llego hasta sedimentos del Triásico.

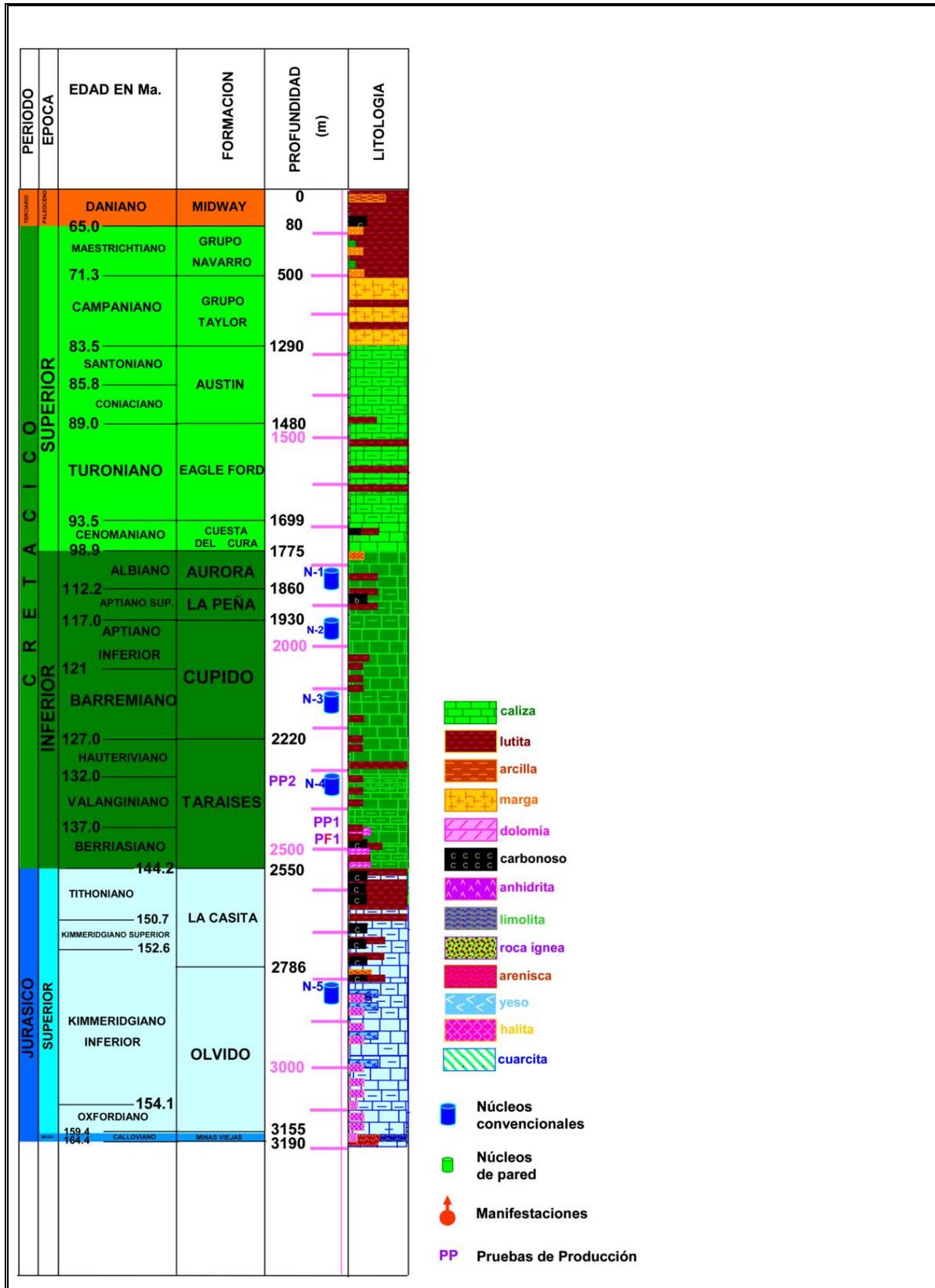


Fig. 5.8.- Columna estratigráfica del pozo Carruaje-1.

El pozo Carruaje tampoco se encuentra exactamente sobre las líneas, en la figura 5.9 se muestra su ubicación primero proyectado en una línea cercana y en la parte inferior apreciando también la intersección de ambas líneas.

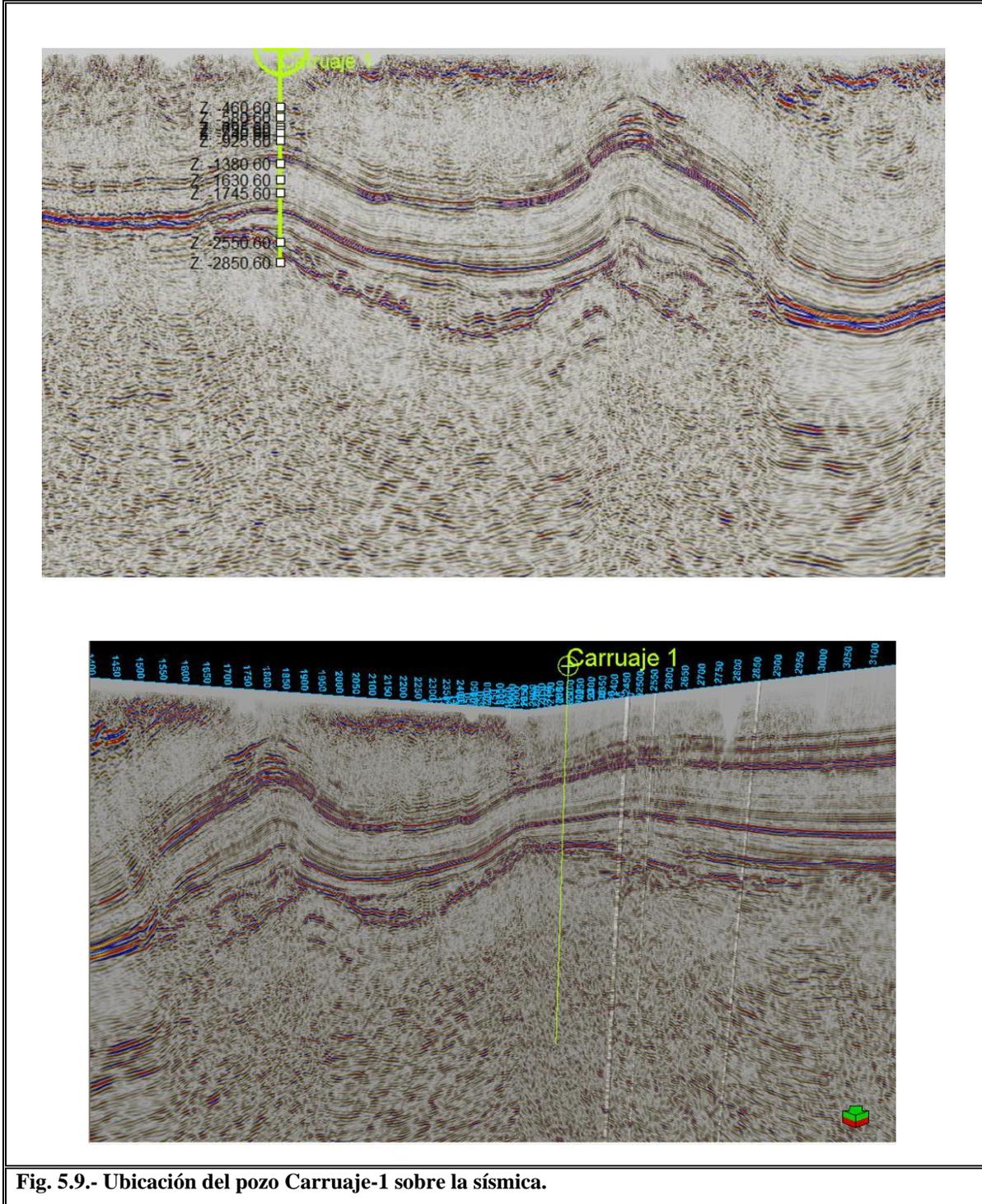


Fig. 5.9.- Ubicación del pozo Carruaje-1 sobre la sísmica.

#### **5.2.4.- Pozo Cerralvo-1A**

El pozo se ubica sobre una nariz afallada en su porción occidental, que buza al noreste hacia el anticlinal de un pozo cercano llamado Chapa-101 (PEP, reporte final de pozo).

Este pozo atravesó una secuencia similar a la del pozo Carbajal-1, en la figura se describe con mas detalle, en el área del mismo aflora la Formación Midway perteneciente al Paleoceno. El pozo atravesó una columna compuesta de lutitas y margas, calizas del Cretácico, Jurásico, y yesos y unas grauvacas que quizás sean del Paleozoico.

El paleozoico en este pozo se describe como: Material cuarzoso de color gris claro, con rayado blanco, fue cortado a los 2900 m y es semejante al encontrado en el pozo Chapa-101 a 3178 m de profundidad, que hace suponer que pertenezcan a las grauvacas del Paleozoico, sin embargo esta unidad no se considero dentro de la columna para este pozo por falta de datos.

A continuación se puede apreciar en la figura 5.10 la columna estratigráfica atravesada por el pozo Cerralvo-1A.

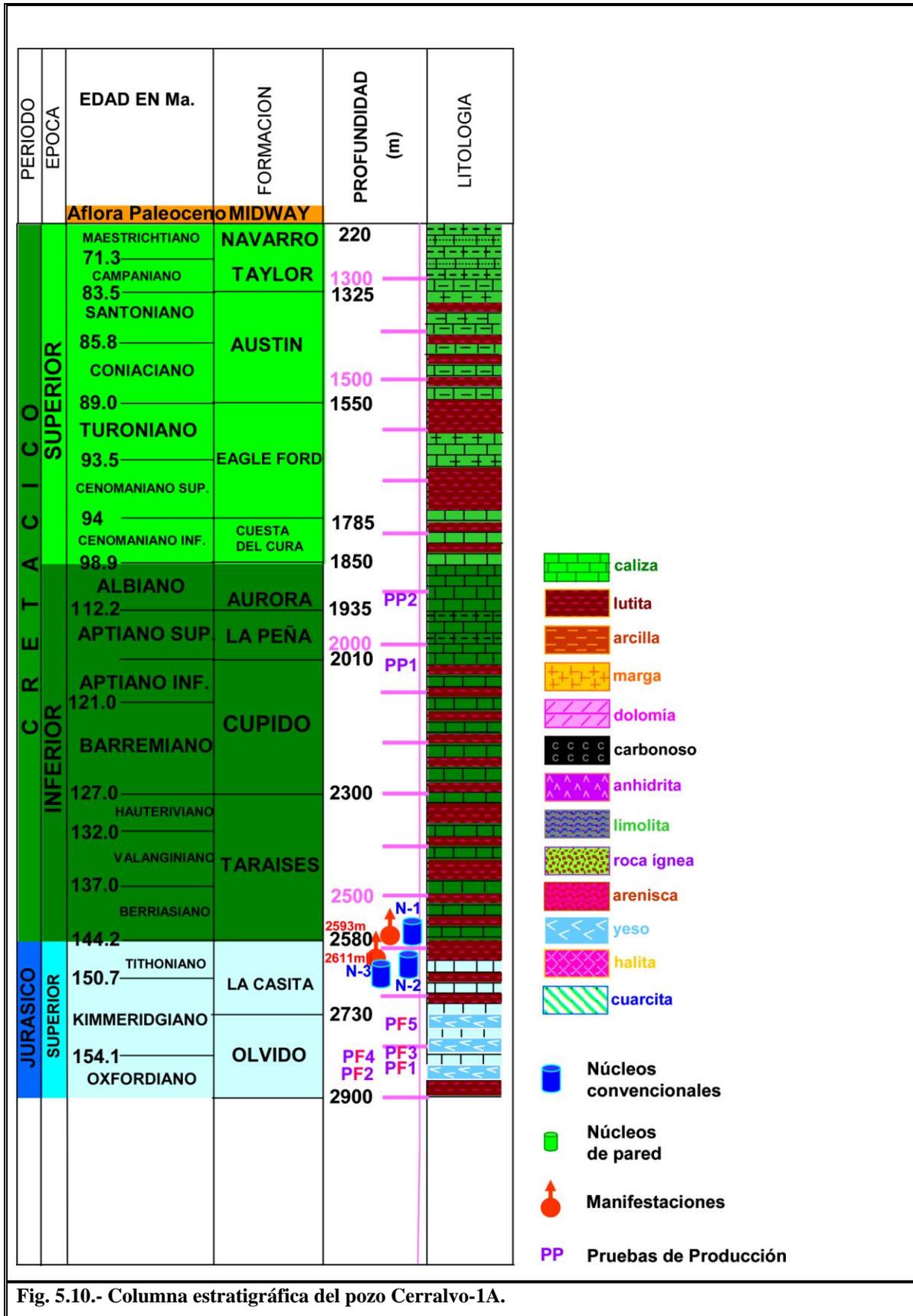
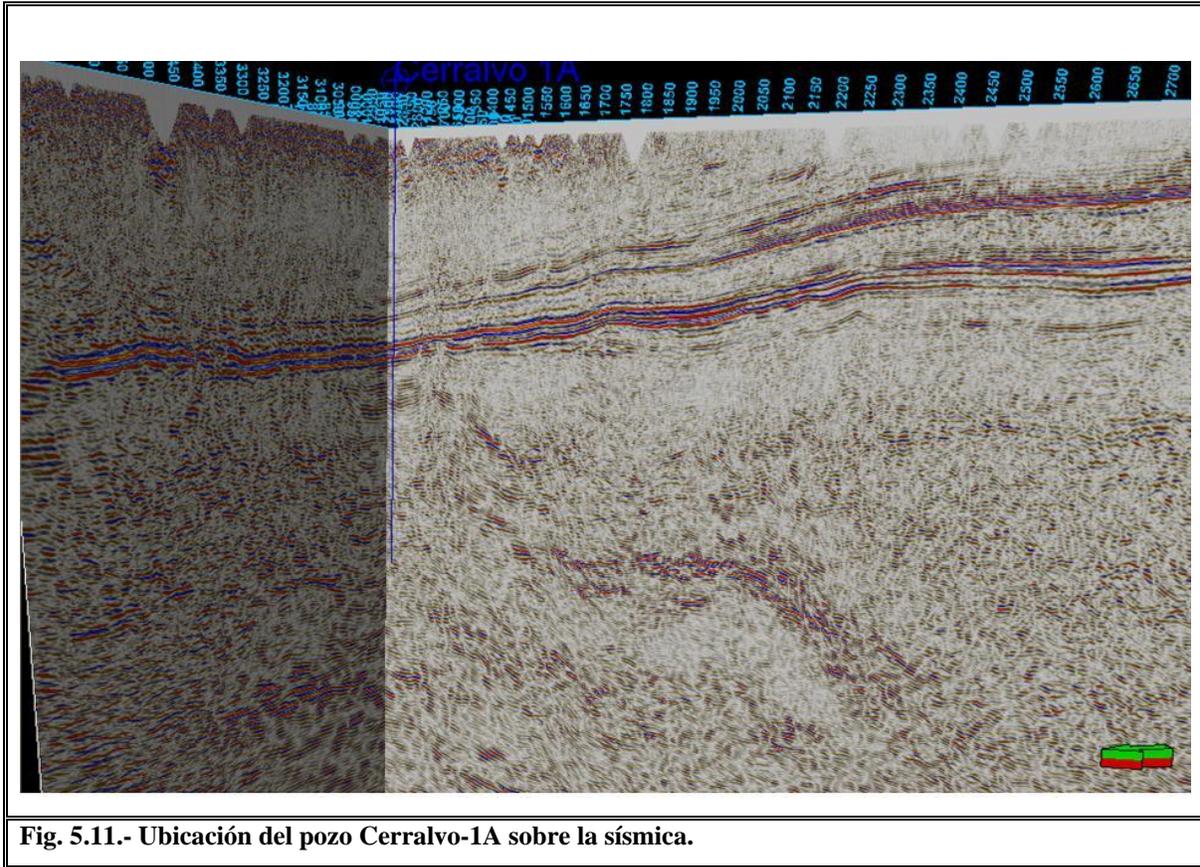


Fig. 5.10.- Columna estratigráfica del pozo Cerralvo-1A.

En la figura 5.11 se muestra la ubicación de este pozo sobre las líneas sísmicas.



### 5.2.5.- Pozo Fresno-1

Este pozo se encuentra localizado a 25 km al SW de China N.L. y a 14100 m del pozo Vapor-1, esta situado en la parte alta de un anticlinal orientado NW-SE, cortado en su flanco oriental por una falla normal, orientada NW-SE. Esta estructura esta afectada a lo largo de su eje por una zona perturbada. El objetivo de este pozo, fue evaluar las condiciones de acumulación de fluidos de los sedimentos correspondientes a las formaciones Cupido y Zuloaga, del Cretácico y Jurásico respectivamente, así como investigar las condiciones de sedimentación del Jurásico, alcanzo una profundidad total de 3565 m, en este pozo se muestrearon mecánicamente todos los intervalos que presentaron manifestación de hidrocarburos, así como las formaciones que se consideren de interés estratigráfico o petrográfico y también por correlación con otros pozos.

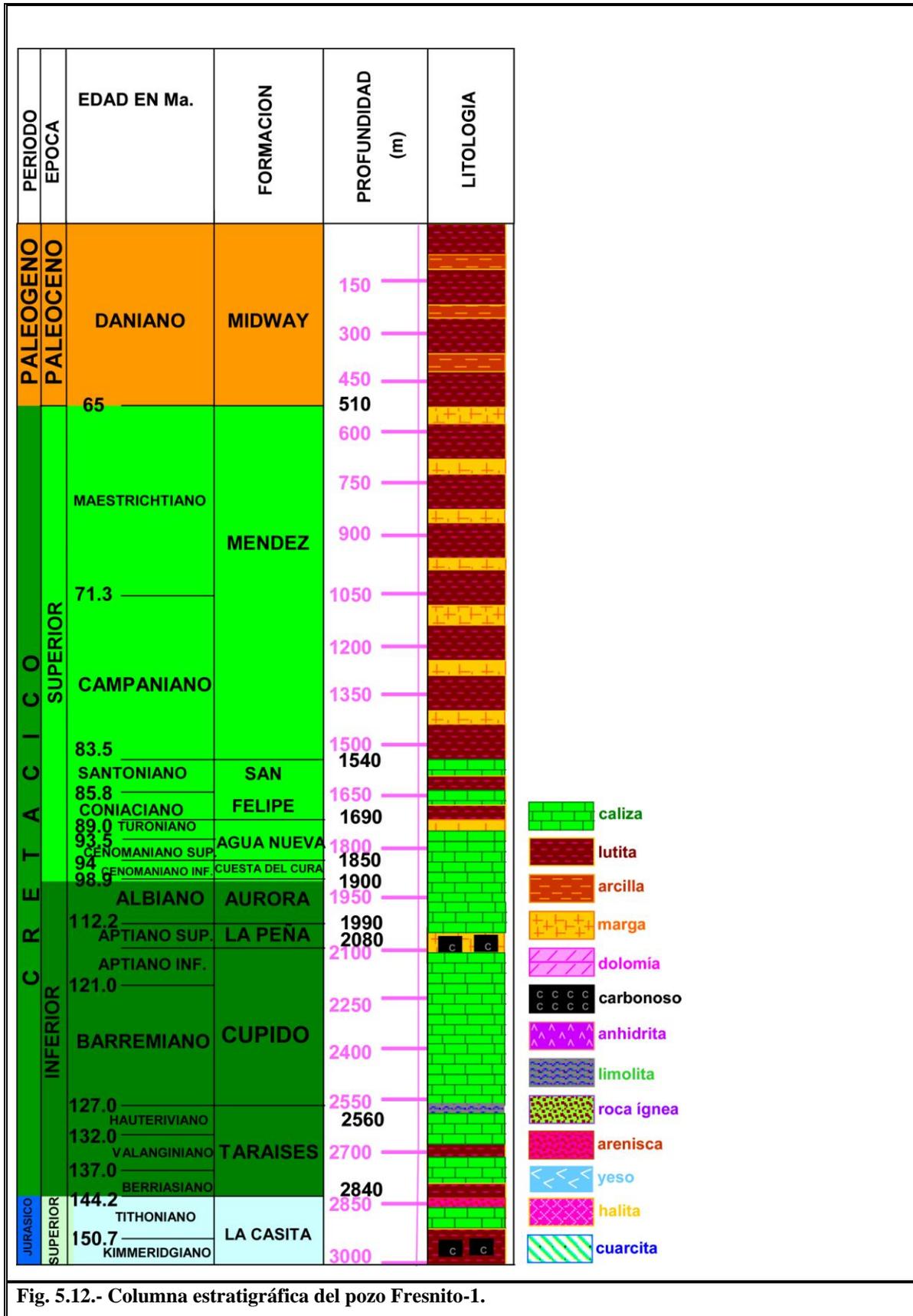


Fig. 5.12.- Columna estratigráfica del pozo Fresnito-1.

En la figura 5.12 se muestra la columna estratigráfica atravesada por el pozo Fresno-1.

Este pozo forma parte de un prospecto geosismológico denominado las Barrancas, en el área SW de China N.L., con este se propusieron las localizaciones Fresno-1, Teniente-1, Morralito-1, Corral-1 y Olmos-1, llevando como objetivo principal establecer las condiciones de sedimentación del Jurásico en lo que corresponde al margen oriental de los elementos positivos denominados Paleopenínsula de Tamaulipas e Isla de San Carlos, con miras a la prospección de hidrocarburos, siendo el objetivo secundario, sedimentos correspondientes al Cretácico Inferior que han presentado manifestaciones en pozos circunvecinos (PEP, reporte final de pozo).

El pozo Fresno- se localiza paleogeográficamente en el borde Norte de la Isla de San Carlos, la cual actuó como elemento positivo en el Jurásico y posiblemente en el Cretácico Inferior.

La columna atravesada por este pozo, es similar a la del pozo Carruaje-1, a excepción de que en este pozo lo que tenemos aflorando es Paleoceno con un espesor de 510 m, el cual esta constituido por lutitas, lutitas arenosas de color gris oscuro, gris y café, con desarrollos de areniscas de grano fino a medio de colores gris y gris verdoso, en matriz arcillo-calcárea.

Al final de la perforación de este pozo y de acuerdo con los registros geofísicos tomados, las muestras recolectadas durante la perforación y núcleos cortados en este pozo, se reporto este pozo como improductivo, a una profundidad total de 3565 m (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.13 se muestra la estructura sobre la cual se encuentra el pozo, se puede observar que se sitúa exactamente en la parte mas alta del anticlinal.

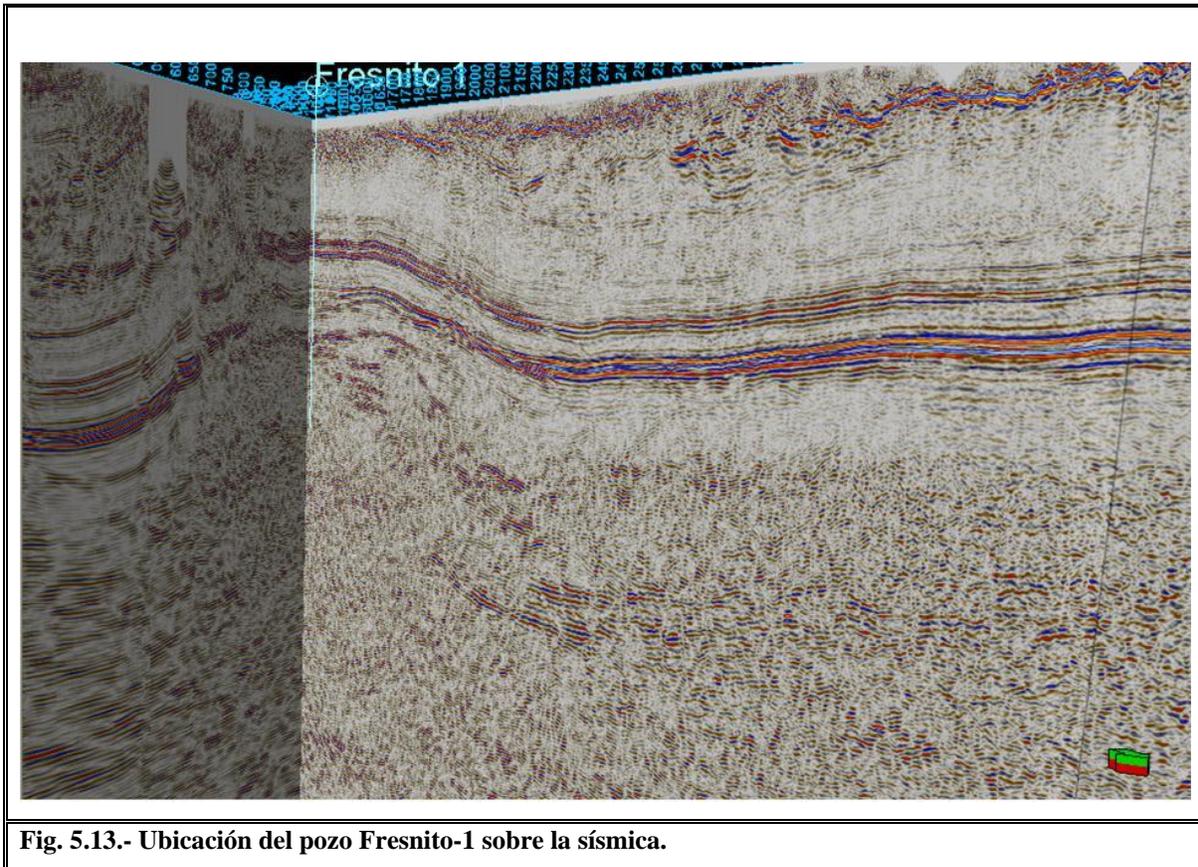


Fig. 5.13.- Ubicación del pozo Fresnito-1 sobre la sísmica.

### 5.2.6.- Pozo Herreras-1, 2 y 101

Para este caso se englobaron los 3 pozos en uno solo ya que están situados muy cerca uno de otro, y para evitar redundancia de información se realizó una descripción general de estos.

El área donde quedan situados los pozos Herreras, paleogeográficamente se localiza en la plataforma Oxfordiana al oriente de la Isla de Picachos, tiene interés económico-petrolero, ya que en esta posición se perforaron los 3 pozos Herreras, de los cuales Herreras 1 y 2 mostraron existencia de hidrocarburos, dentro de las formaciones Tarieses y Tamaulipas Superior (PEP, reporte final de pozo).

En el pozo Herreras-2, se observó presencia de gas sin presión y aceite contaminando el lodo en las presas durante la perforación de la Formación La Peña del Cretácico Inferior, la porosidad en estos casos fue básicamente por fracturamiento.

El objetivo fue establecer producción comercial de hidrocarburos en rocas dolomitizadas y oolíticas, con porosidad primaria y/o fracturas de la Formación Olvido y Novillo del Jurásico Superior, así como también en calizas fracturadas de la Formación la Peña, Tamaulipas Inferior y Taraises del Cretácico Inferior (PEP, reporte final de pozo).

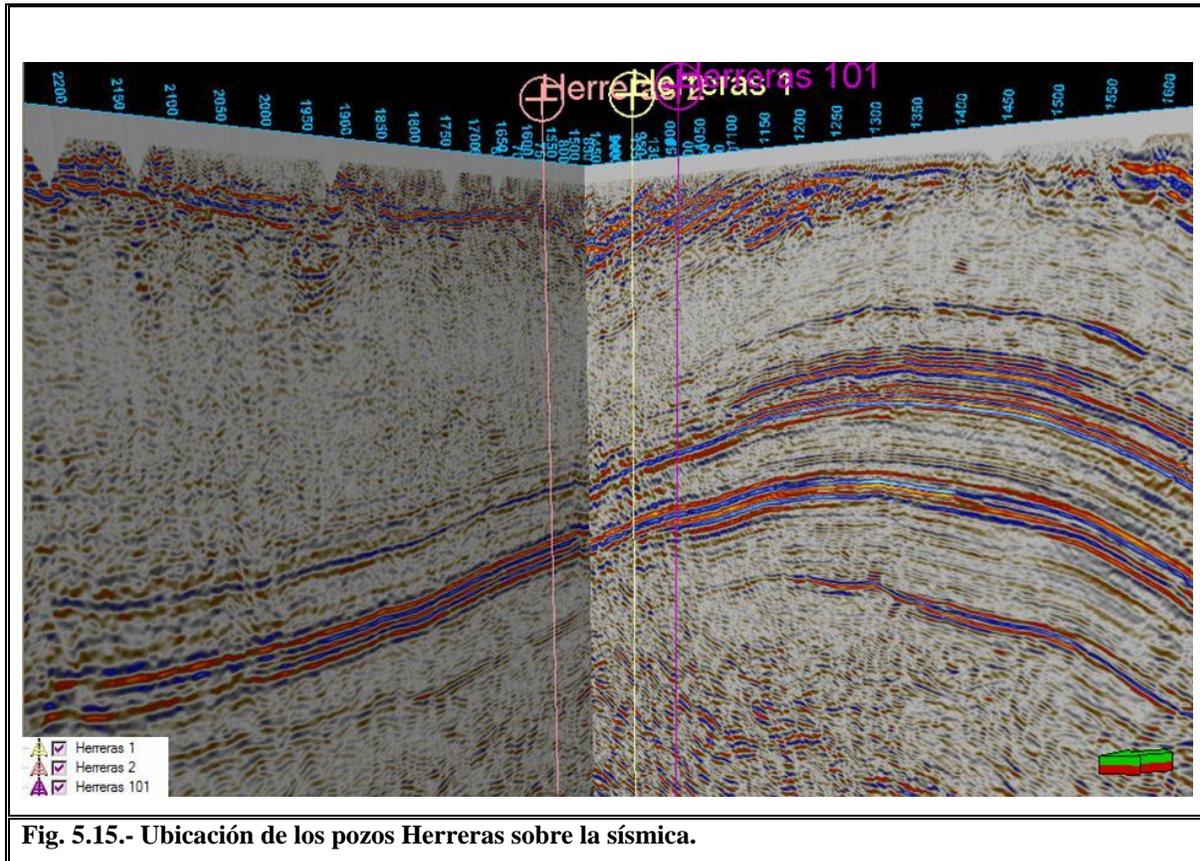
Este pozo se ubicó en el flanco oriental del anticlinal Herreras, a dicha estructura se le estima una extensión de 20 km por 10 km de amplitud, su eje tiene una orientación variable de N 40° W abierto en rocas de la Formación Méndez del Cretácico Superior, como resultado del levantamiento de toda el área durante la Orogenia Laramide; las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior fueron afectadas por un intenso fracturamiento debido a esfuerzos Laramídicos principalmente.

En la etapa final de la perforación de este pozo, se cortaron intrusiones de roca ígnea color gris verdoso o piritizada de constitución ácida a intermedia compuesta de cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos, en alternancia con microdolomía gris claro y mudstone crema. Según estudios petrográficos efectuados en el IMP se determinó a estas rocas como un Lamprófido de hornblenda (Espesartita) de la familia Diorita-Andesita, roca ígnea de carácter hipabisal.

En la figura 5.14 se puede observar la columna estratigráfica atravesada por el pozo Herreras-1, se aprecia solo una de las 3 columnas para no redundar como se menciona con anterioridad debido a la cercanía entre estos pozos.



En la figura 5.15 se aprecia la ubicación de los tres pozos, al igual que en casos anteriores los pozos no se encuentran exactamente sobre la sísmica. Se perforaron tres pozos en esta área, debido a que tuvieron manifestación de hidrocarburos y se pensó que perforando en diferentes ubicaciones podría encontrarse algo de interés comercial.



### 5.2.7.- Pozo Margarita-1

El objetivo de este pozo fue investigar las características estratigráficas de las formaciones del Jurásico Superior que se acuñan y cambian de facies hacia lo que pudiera ser la península de Tamaulipas y así como también reconocer las rocas que subyacen a los sedimentos Jurásicos en este punto (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.16 se aprecia la columna estratigráfica atravesada por el pozo Margarita-1.

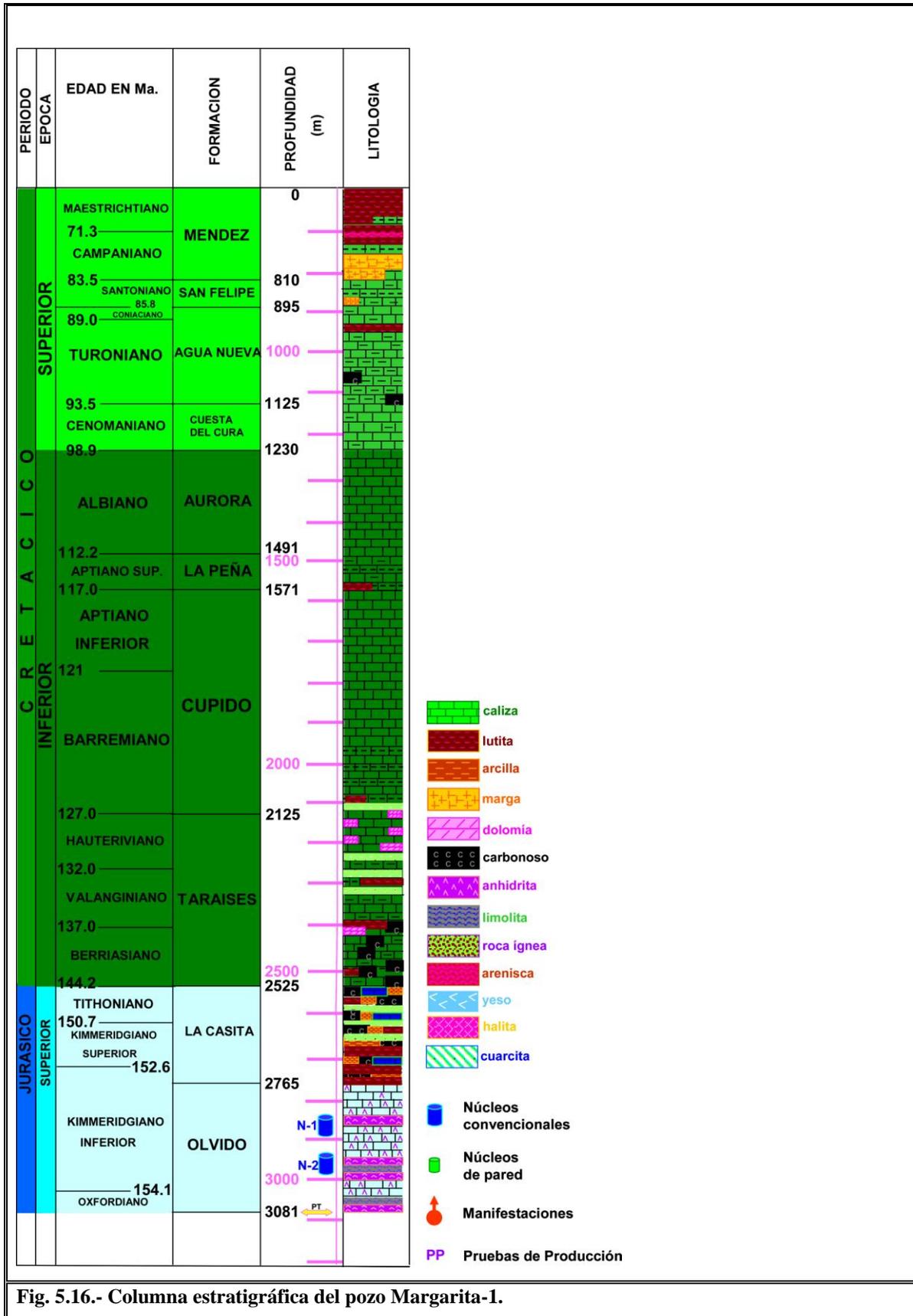


Fig. 5.16.- Columna estratigráfica del pozo Margarita-1.

En la figura 5.17 se muestra la ubicación de este pozo en la sísmica, al igual que en algunos pozos anteriores, no se encuentra el pozo sobre la línea.

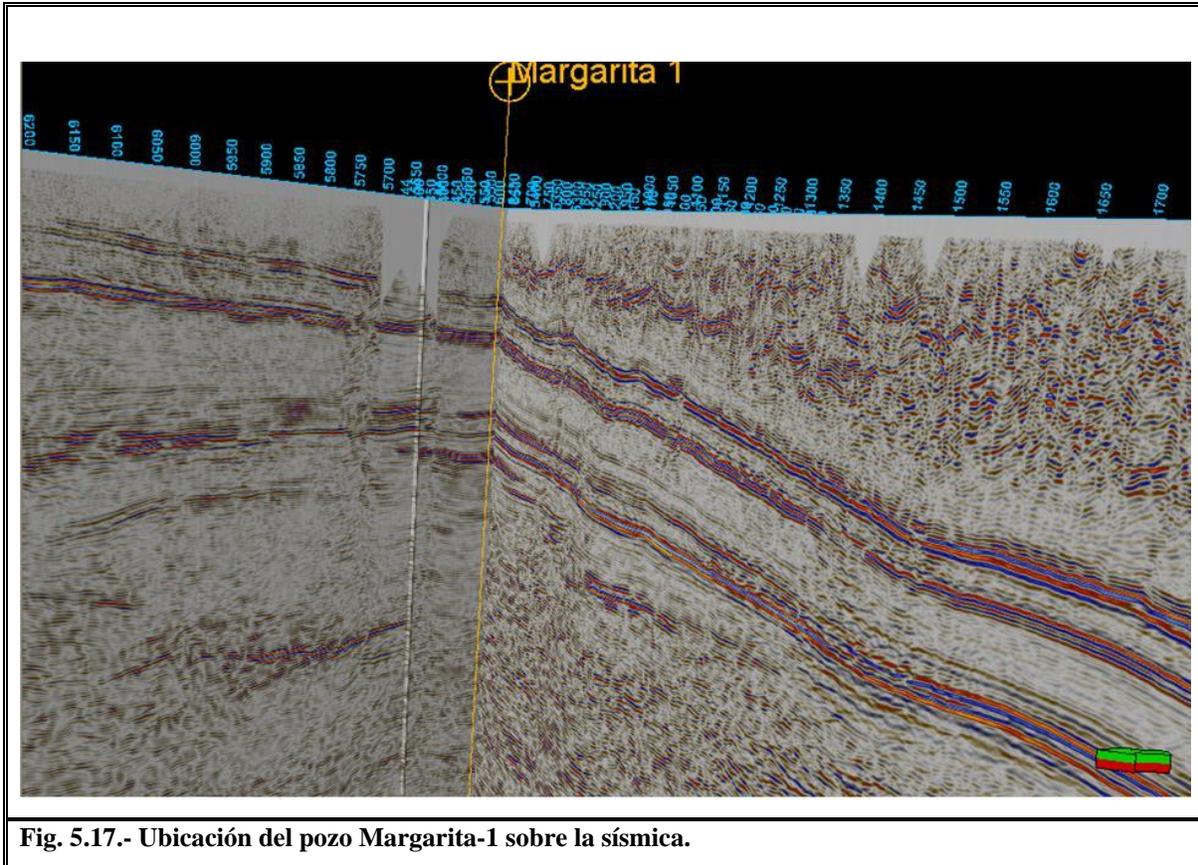


Fig. 5.17.- Ubicación del pozo Margarita-1 sobre la sísmica.

### 5.2.8.- *Pesquerías 1 y 2*

Estos dos pozos se situaron en la culminación de un anticlinal bien definido por sismología, la estructura tiene una orientación NW-SE, afectada en sus flancos por dos fallas longitudinales la occidental con caída al oeste y la oriental con caída al este, formando un horst. En la figura 5.18 se puede observar la ubicación de ambos pozos sobre la sísmica (PEP, reporte final de pozo).

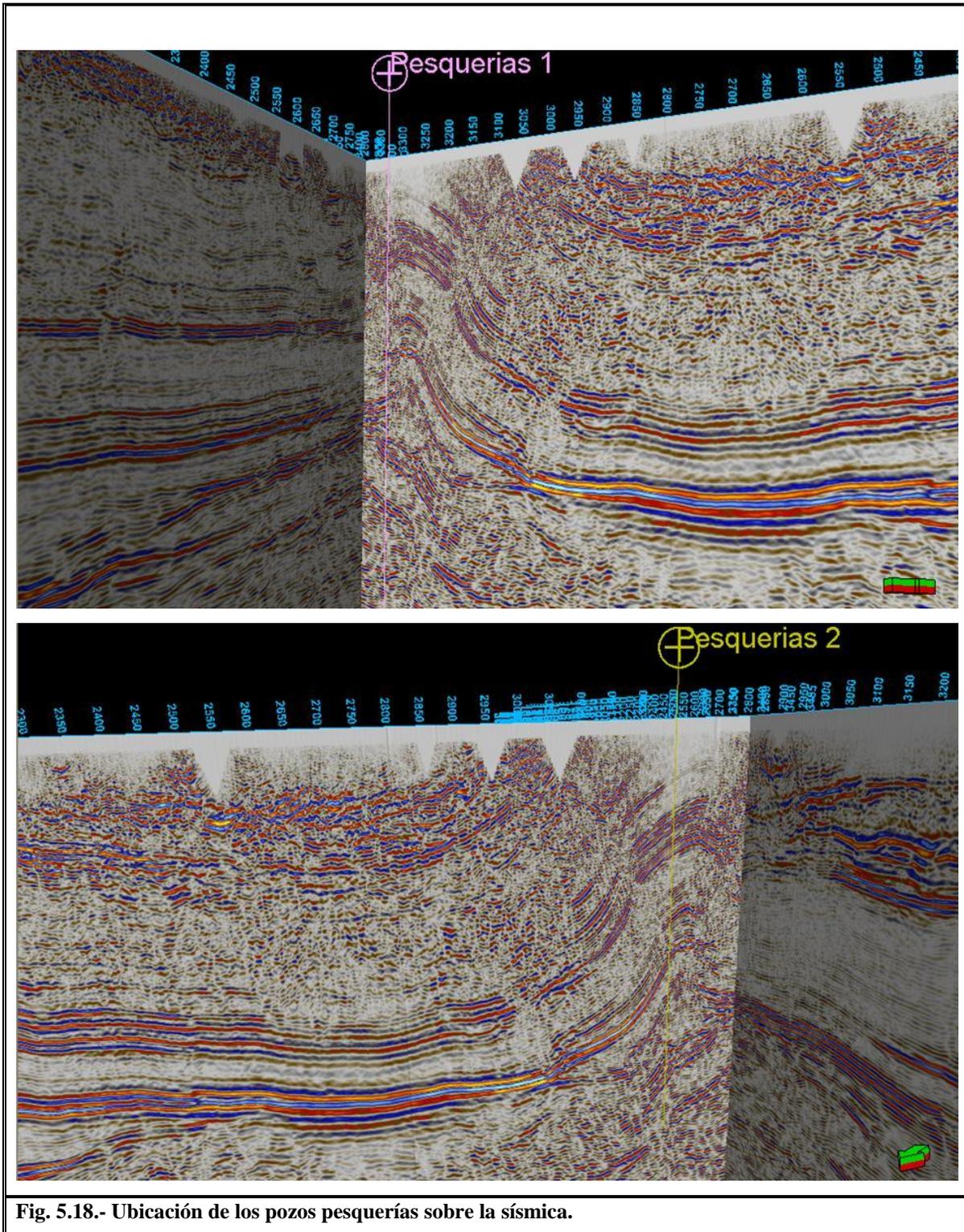


Fig. 5.18.- Ubicación de los pozos pesquerías sobre la sísmica.

La columna estratigráfica atravesada por este pozo es de edad Cretácico Superior al Jurásico Superior, los sedimentos que la integran están constituidos en la parte superior, desde la Formación Méndez a la San Felipe, por lutitas y lutitas calcáreas; de la Formación Agua Nueva al grupo La Casita, por calizas que en la primera son arcillosas, en esta última carbonosas y las formaciones intermedias varían de calizas puras a arcillosas. Una característica de la Formación Taraises es que se encontró con zonas de fracturas, solo que estas están selladas por calcita (PEP, reporte final de pozo).

La posición estructural del pozo Pesquerías-2 fue más favorable para la acumulación de hidrocarburos que en el pozo Pesquerías-1, esto debido a que esta de 86 a 23 m más alto, pero debido a que los sedimentos están muy compactos no fue posible obtener hidrocarburos en forma comercial.

La estructura Pesquerías se exploró en el flanco oriental y hacia la cima, con los dos pozos, con los resultados ya mencionados, por tal motivo se recomienda que para nuevas localizaciones (que lleven como objetivo los sedimentos Cretácicos) buscar zonas de fracturamiento que son en las que se puede tener condiciones de porosidad y permeabilidad favorables para la acumulación de hidrocarburos (PEP, reporte final de pozo).

En la siguiente figura 5.19, se aprecia la columna estratigráfica atravesada por el pozo Pesquerías-2, al igual que con los pozos Herreras se decidió solo poner una de las dos columnas existentes debido a su cercanía.

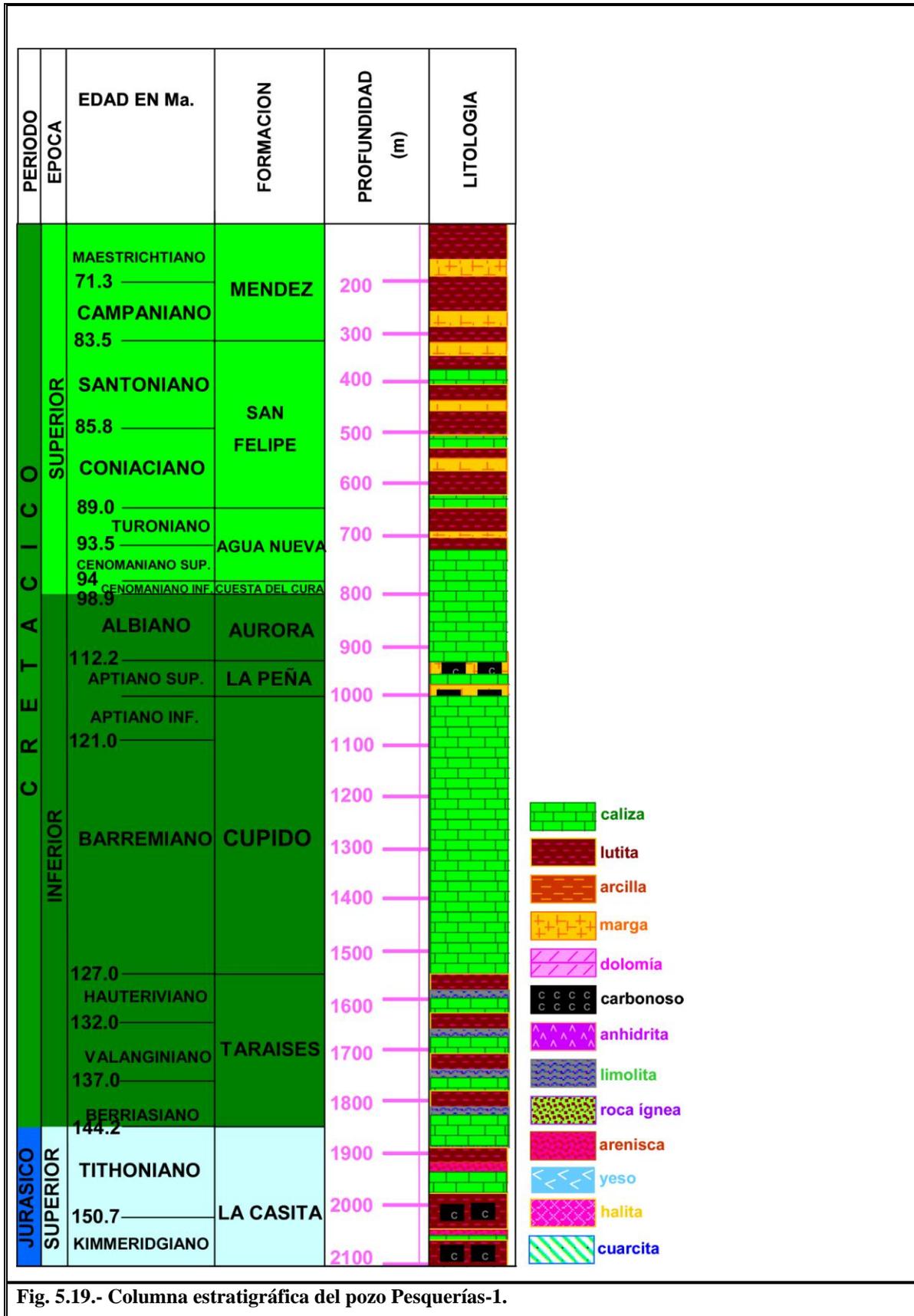


Fig. 5.19.- Columna estratigráfica del pozo Pesquerías-1.

### 5.2.9.- Pozo Ramones-1

Este pozo está situado en la estructura de los Ramones, un anticlinal con una longitud aproximada de 30 km, un rumbo generalizado NW 45° SE y una amplitud máxima de 5 km aproximadamente (PEP, reporte final de pozo). Fue determinada por geología superficial y se manifiesta con afloramientos de sedimentos del Cretácico Inferior (Fm. Aurora).

Con los resultados obtenidos en las perforaciones exploratorias de los pozos Pesquerías-1, Vapor-1, Chapa-101 y San Javier-1, que alcanzaron a penetrar en sedimentos del Jurásico Superior (Fm. Olvido), se propuso perforar el pozo Ramones-1 para explorar en mejores condiciones estructurales los sedimentos del Cretácico Inferior y del Jurásico, así como para conocer las posibilidades de las formaciones subyacentes, probablemente correspondientes al Paleozoico.

Este pozo atravesó una columna parecida a la del pozo Benemérito-1, solo que las primeras formaciones que van de Méndez a Cuesta del Cura, se encuentran erosionadas en esta parte puesto que no se reconoció toda la secuencia, por lo que se tiene aflorando a la Formación Aurora y en el subsuelo la misma Formación que va de 0 a 1190 m, como en los pozos anteriores hemos descrito litológicamente las formaciones del Cretácico y Jurásico (hasta la Fm. Olvido), en este solo se describe la litología que no se cortó en los pozos anteriores.

Jurásico Superior.

Formación Eagle Mills (Oxfordiano Inferior): 2110 – 2515 m.

Considerando el gran espesor de halita perforado y la secuencia estratigráfica de los pozos del Este de Texas, se supuso que este intervalo de evaporitas corresponde a la Formación Eagle Mills, que consta de 405 m de halita color amarillo ocre (PEP, reporte final de pozo).

Jurásico Inferior Liásico: 2515 m.

A esta profundidad se presentó un cambio notable, desapareció la halita y comenzó la presencia de caliza gris oscuro y negra carbonosa. Se confirmó el cambio litológico en el registro eléctrico y se consideró tomando en cuenta la secuencia estratigráfica regional.

Estudios preliminares realizados en los laboratorios de paleontología de México D.F., hacen suponer que el contacto corresponde al Liásico del Jurásico Inferior.

En el curso de la perforación de este pozo no hubo ninguna manifestación de hidrocarburos. Sin embargo hubo un brote de CO<sub>2</sub>, flujo gas con una presión de 42 kg/cm<sup>2</sup>.

Se logró atravesar la Formación Olvido cosa que no se logró ni en el pozo San Javier-1, ni en el Pesquerías-1, también se penetró y atravesó un cuerpo de sal con un espesor de 405 m correspondiente a la Formación Eagle Mills.

Subyaciendo a este cuerpo de halita se perforaron 300 m de sedimentos del Jurásico Inferior, con intrusiones ígneas en la parte inferior, cuya presencia se incrementa con la profundidad hasta entrar a roca ígnea franca (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.20 se aprecia la ubicación del pozo Ramones-1, desafortunadamente los datos de la sísmica no atraviesan la Sierra de Papagayos, es por eso que en esta parte no se aprecia la continuidad de la estructura, se sabe de antemano que el pozo se localiza en el flanco Oeste de la Sierra.

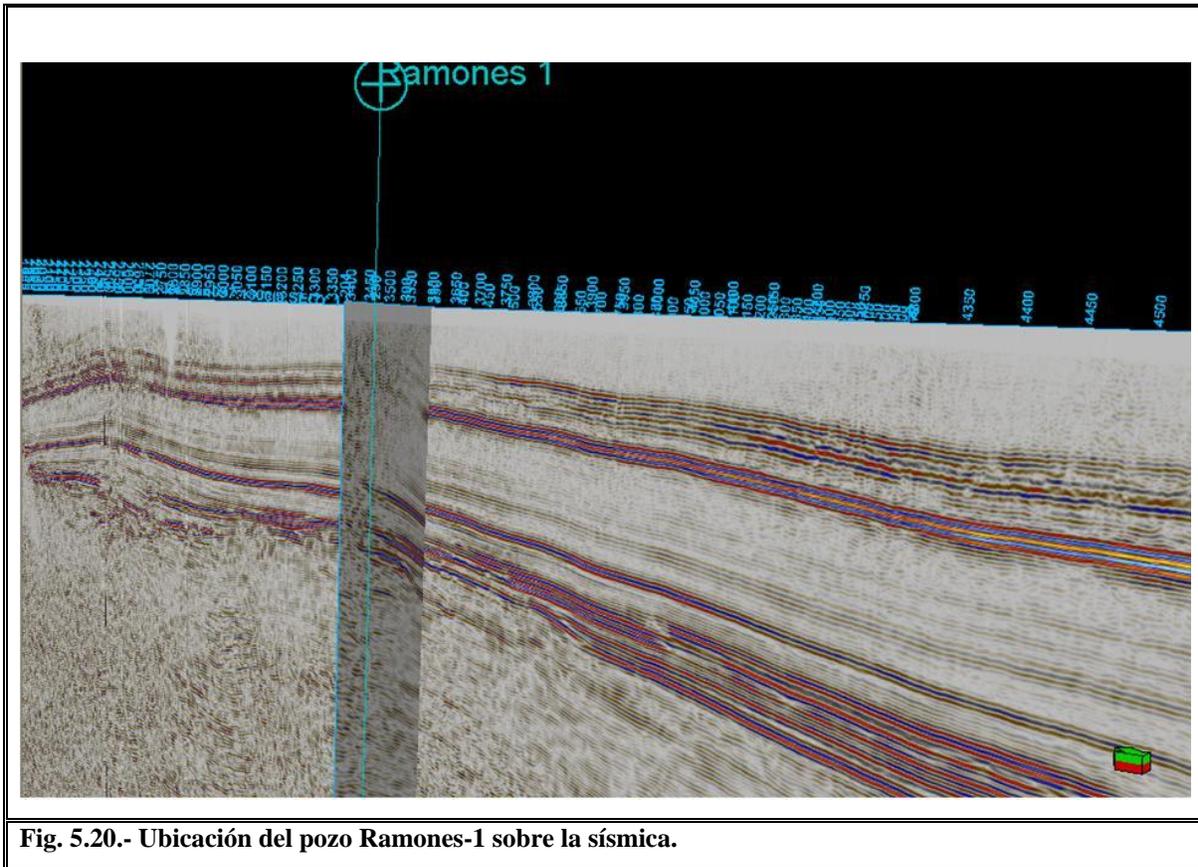
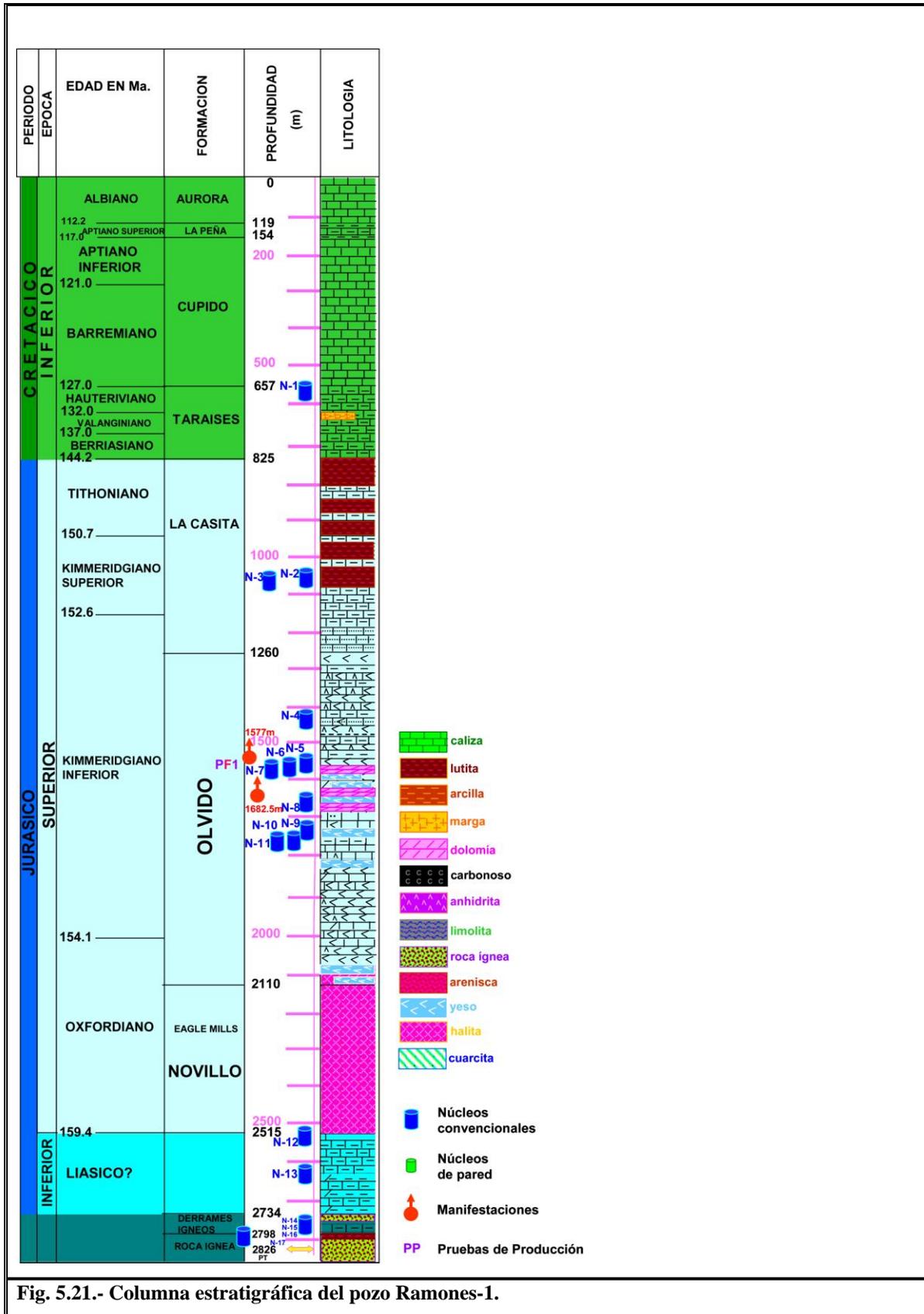


Fig. 5.20.- Ubicación del pozo Ramones-1 sobre la sísmica.

Algo que destaca en este pozo es el notable aumento del espesor en la Formación Olvido con respecto a lo reportado en otros pozos cercanos, como lo son el Benemérito-1 y Refinería-1, el comportamiento de los espesores de las formaciones reportadas entre estos pozos se pueden observar en la tabla 5.2 y en la figura 5.4.

En la siguiente figura 5.21, se describe la columna estratigráfica cortada por el pozo Ramones-1.



### 5.2.10.- Pozo Refinería-1

Este pozo se encuentra a 7625 m al SW del pozo Carbajal-1, se ubica en la culminación del flanco SW del anticlinal de Herreras y próximo a su buzamiento, buscando el fracturamiento de su parte axial. Dicha estructura presenta una extensión de 20 km aproximadamente por 10 km de amplitud. Su eje se orienta sensiblemente NW-SE, abierta en rocas de la Formación Méndez (PEP, reporte final de pozo).

La columna atravesada va desde la Formación Méndez del Cretácico Superior, pasando por Jurásico Superior y concluyendo en Lechos Rojos del Triásico, culminando a una profundidad total de 3025 m ya que se consideraron cubiertos los objetivos geológico-económicos (PEP, reporte final de pozo).

Como en los pozos anteriores se han descrito las formaciones que en este pozo se cortaron, nos limitaremos a solo describir las que no se han mencionado con anterioridad.

Formación Huizachal (?) Lechos Rojos (Triásico): 3005 – 3025 m.

Esta Formación esta constituida por conglomerado polimictico de cuarzo, roca ígnea verde y rojiza, limolita arenosa color café rojizo y escasa pirita diseminada. No tiene atractivo económico-petrolero.

Formación Novillo (Oxfordiano): 2815 – 3005 m.

Su porción superior esta formada por dolomías de color gris y café de aspecto granular con buena porosidad. La parte inferior consiste de mudstone microlaminado color gris oscuro, en partes ligeramente dolomitizado, con presencia de azufre. Microdolomía gris claro ligeramente calcárea, mantos de roca ígnea intrusiva color gris verdoso a verde olivo compuesta de cuarzo y ferromagnesianos (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.22 se aprecia la columna estratigráfica atravesada por el pozo Refinería-1.

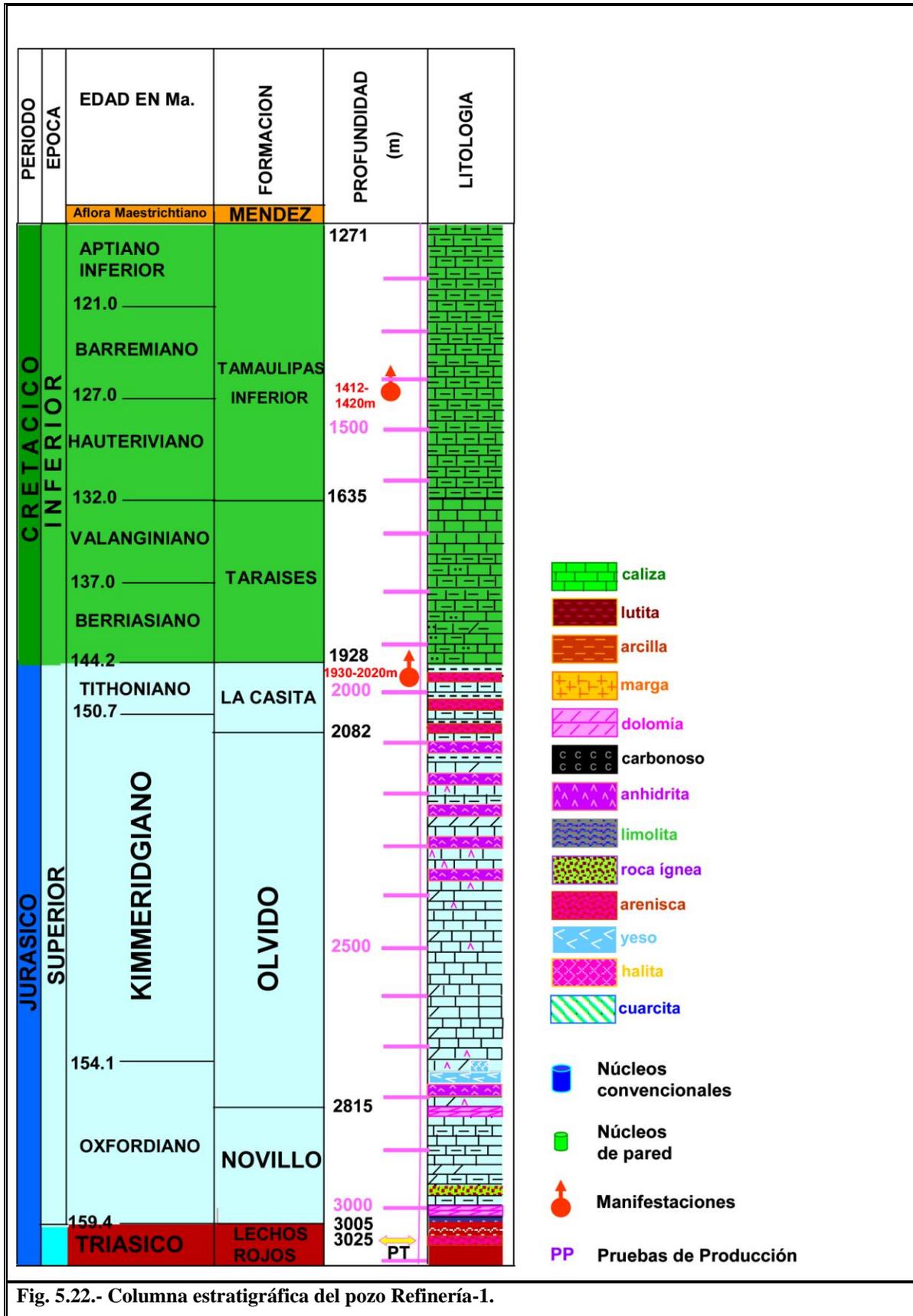
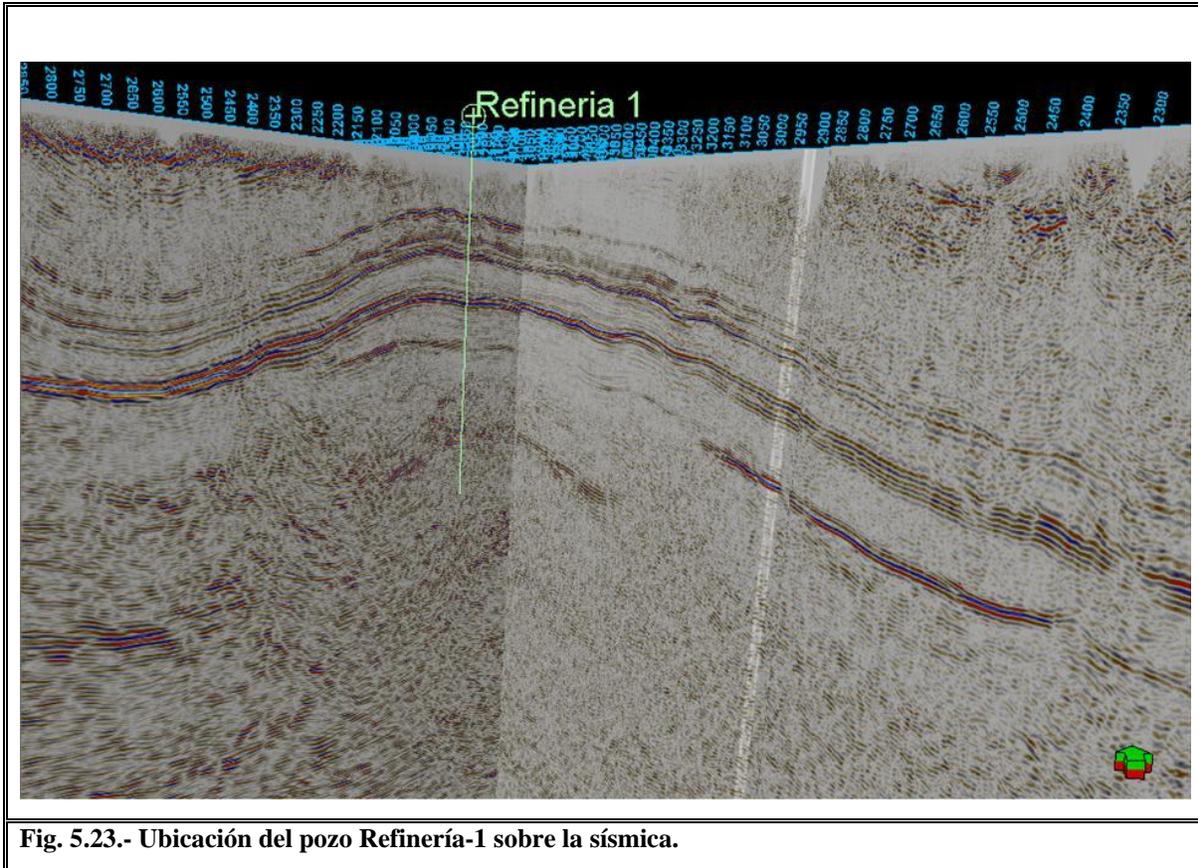


Fig. 5.22.- Columna estratigráfica del pozo Refinería-1.

En la figura 5.23, se aprecia la ubicación del pozo, se observa que esta exactamente en la parte más alta del anticlinal.



### 5.2.11.- Pozo Vapor-1

El pozo Vapor-1 fue perforado en un anticlinal alargado y orientado NW-SE, con cierre aproximadamente de 75 m, a su vez forma parte de una serie de altos orientados con el mismo rumbo, uno de los cuales es considerado la estructura Pesquerías (PEP, reporte final de pozo).

En la figura 5.24 se puede apreciar la columna estratigráfica cortada por el pozo Vapor-1.

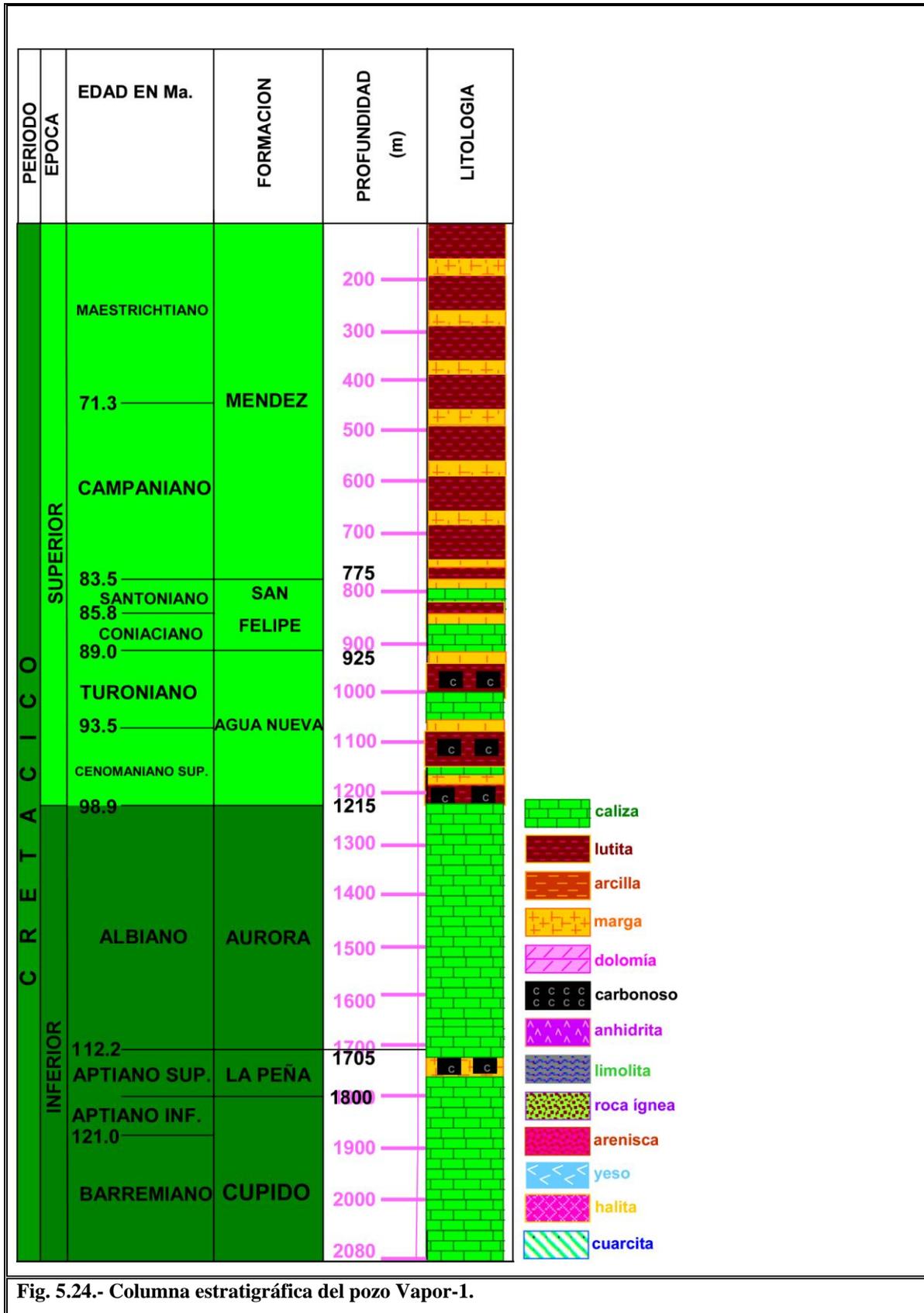


Fig. 5.24.- Columna estratigráfica del pozo Vapor-1.

En la figura 5.25 se puede apreciar la ubicación del pozo, situado en la parte más alta del anticlinal.

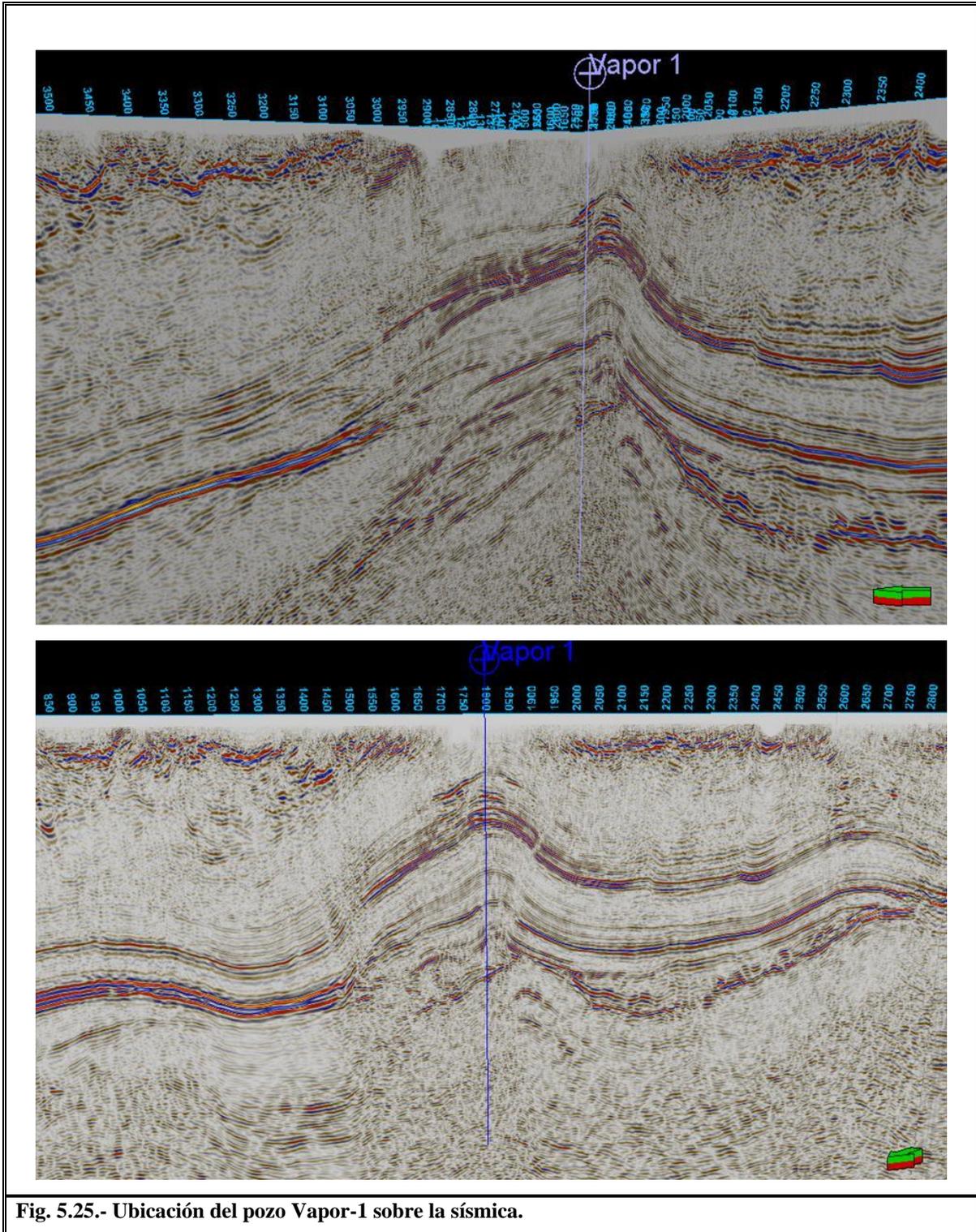


Fig. 5.25.- Ubicación del pozo Vapor-1 sobre la sísmica.

Es importante mencionar que por la antigüedad de estos pozos, no se contó con muchas de las herramientas modernas que se tienen hoy en día, por ejemplo no fue posible conseguir los datos de Tiempo vs. Profundidad en extensión “.Las”, que es el formato adecuado para cargar los datos en el software usado (Petrel V. 2005), solo se contó con datos numéricos y en base a eso se realizaron las gráficas de manera manual, posteriormente los datos fueron cargados como si fuesen archivos “.Las”.

### **5.3. - Configuración en Tiempo**

El producto principal que se obtuvo de la interpretación de las 30 líneas, fue la configuración en tiempo de los horizontes que van de la Formación Olvido del Jurásico Superior a la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior. En un principio se pensó en solo interpretar los horizontes que mostraban cierto interés económico, pero al estar trabajando en el software se decidió elaborar todos los horizontes antes mencionados, para así tener casi completa la morfología de esta área y por formaciones.

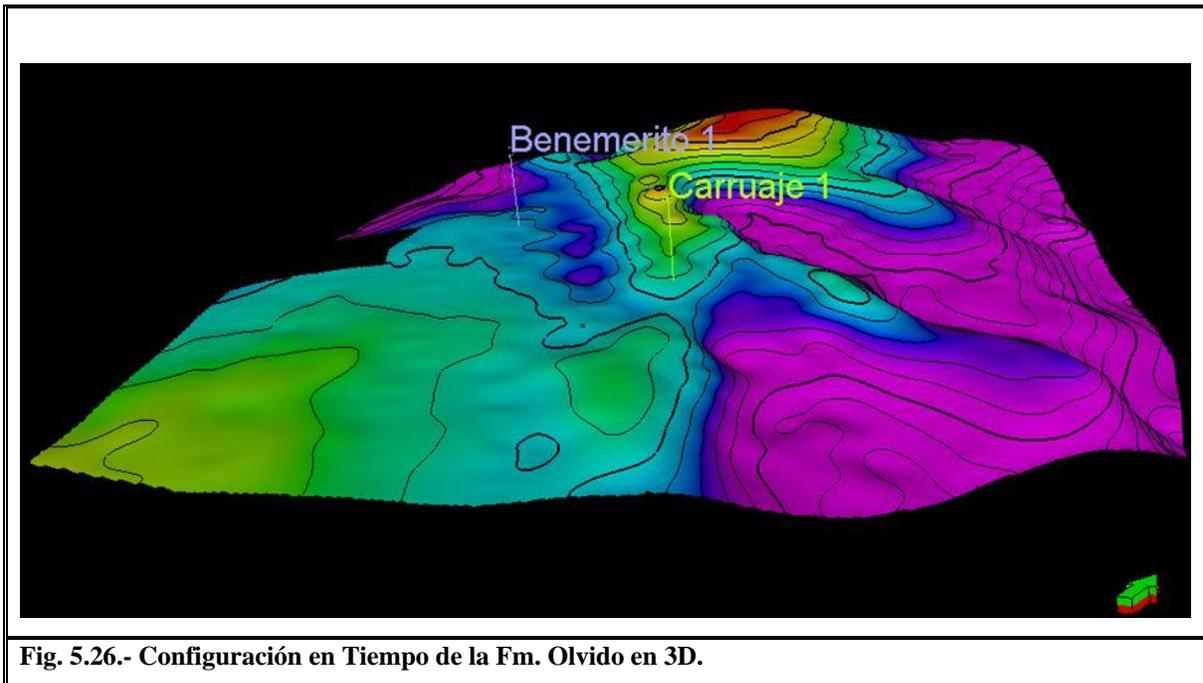
La sísmica con la que se contó desafortunadamente no cruza la Sierra de Papagayos, motivo por el cual se realizaron dos configuraciones, una sin tomar en cuenta la Sierra de Papagayos y otra tomando en cuenta esta estructura la cual es interpolada por el software.

Estas configuraciones dan una mejor idea de cómo está el subsuelo y en su caso para poder tener mejores localizaciones, cabe mencionar que también existe la configuración en profundidad y en la actualidad es la más usada y recomendada, ya que se aprecian las estructuras a la profundidad real, en la configuración en tiempo como su nombre lo dice las estructuras están a cierto tiempo, en este caso se usó la configuración en tiempo porque no se contó con suficientes datos de tiempo vs. profundidad, ni con los datos necesarios para generar los sismogramas sintéticos, es importante mencionar que la configuración en tiempo que se obtuvo hubiese sido igual o muy similar a la que se hubiese obtenido al realizarla en profundidad, ya que con solo dos curvas de tiempo vs. profundidad lo que hubiese variado la configuración sería muy poco o nada.

A continuación se hablara de las configuraciones en tiempo para cada uno de los pisos antes mencionados, se comenzara de lo más antiguo a lo más reciente.

### Formación Olvido Jurásico Superior:

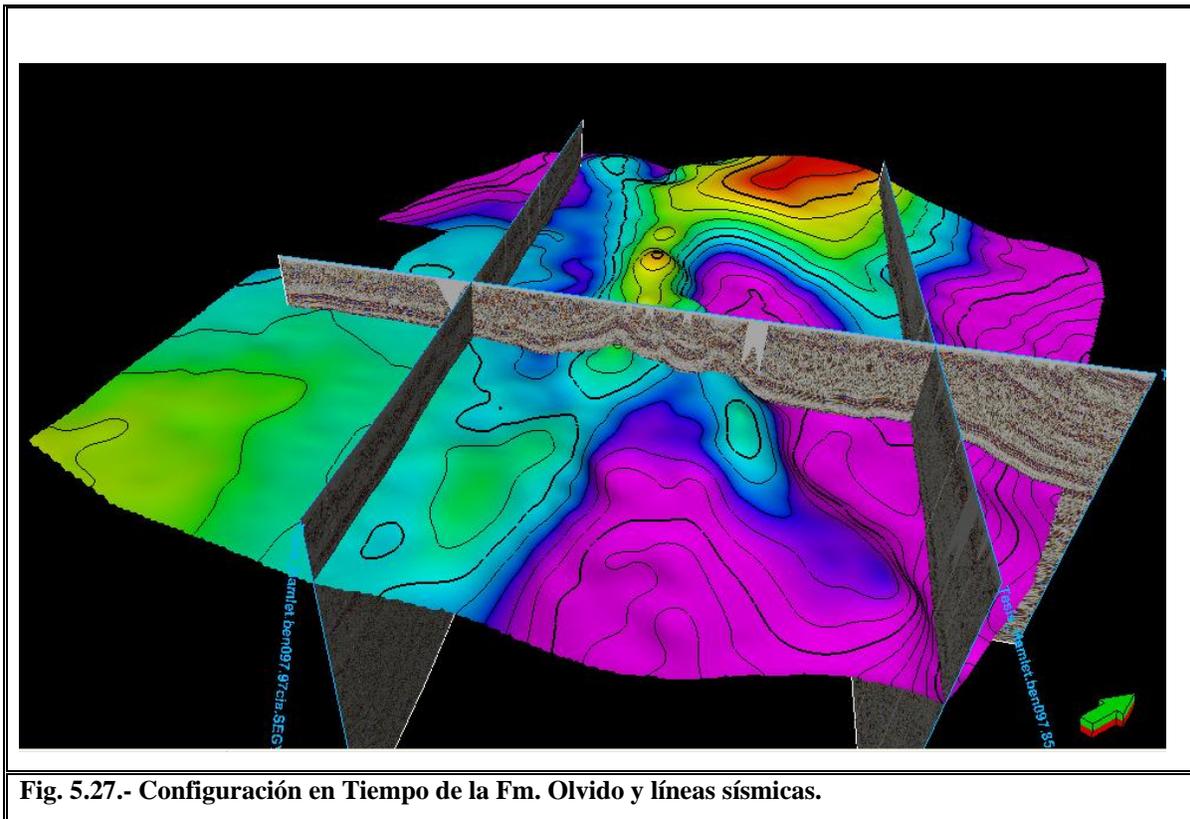
Dentro de esta sección se muestran tres imágenes de las diferentes configuraciones, la primera será en tres dimensiones, la segunda será la configuración en 3D en conjunto con algunas líneas sísmicas y la tercera será el mapa correspondiente en planta para cada Formación. Para la descripción se utilizara la imagen en 3D ya que permite observar mas detalles. La flecha que se observa dentro del dibujo indica hacia donde esta el Norte.



Esta configuración corresponde al piso mas antiguo con el cual se trabajo, correspondiente a la Fm. Olvido del Jurásico Superior (Fig. 5.26), se puede observar de manera clara hacia donde están los altos (colores rojos) y los bajos (colores morados) estructurales dentro del área de estudio, lo cual permite tener una mejor idea del comportamiento general de los sedimentos dentro del área, así como generar mejores localizaciones para cuestiones petroleras.

En la imagen se aprecian dos pozos cabe mencionar que estos pozos son muy antiguos y no se contaba con toda esta tecnología para ubicarlos, sin embargo están bien ubicados de acuerdo con su objetivo, el pozo Benemérito-1 como se observa no esta sobre ningún alto pero su objetivo era un sondeo estratigráfico, en cuanto al pozo Carruaje-1 se puede observar que se encuentra casi en el final de la estructura que corresponde a la Sierra de Papagayos.

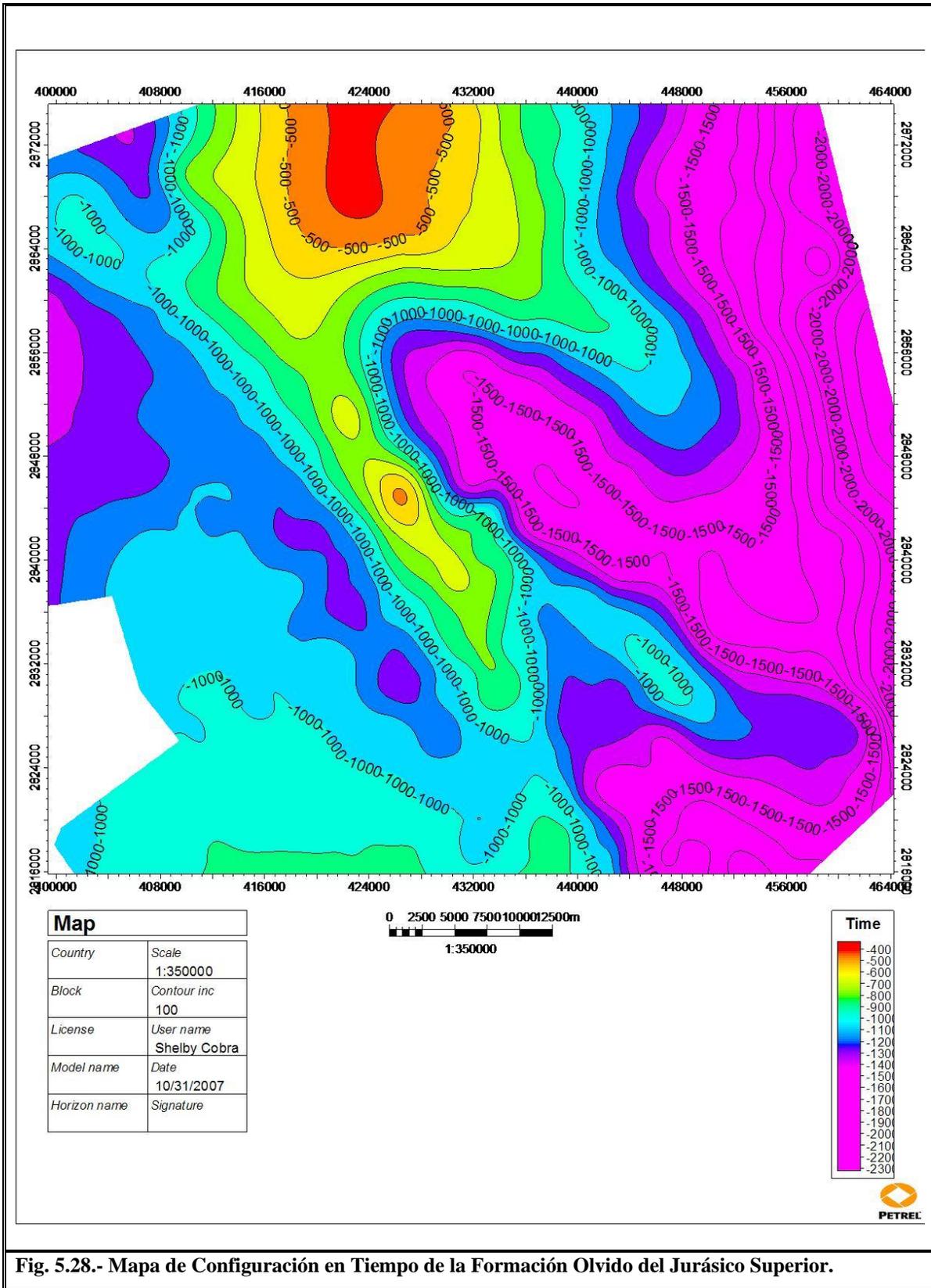
En la figura 5.27, se puede observar la configuración en tiempo con tres líneas sísmicas, en las cuales podemos ver como la configuración en tiempo corresponde exactamente con las estructuras observadas en la sísmica.



En la figura 5.28, se observa la configuración en tiempo de la Formación Olvido pero de diferente perspectiva, en 2D ó en planta.

En esta imagen se observa la paleta de colores que se uso para esta configuración que va de -0.4 a -2.3 segundos o -400 a -2300 milisegundos que es como realmente aparece dentro del mapa. Este seria el mapa correspondiente a la configuración en tiempo de la Formación Olvido ya con coordenadas y escala 1:350,000.

Las partes en rojo representan los puntos más altos y las partes en colores púrpura las partes más bajas dentro del área de estudio, el mapa esta orientado hacia el Norte y la escala que se usada 1:350,000 fue debido al tamaño de la configuración ya que esta escala era la que mas detalles permitía mostrar y con una mejor resolución.



### Formación La Casita Jurásico Superior:

Esta formación es muy importante para el ámbito petrolero ya que en esta área es una de las formaciones consideradas como roca generadora y también como roca almacén (Román y Holguín, 2001), en la figura 5.29, se puede observar su configuración en tiempo.

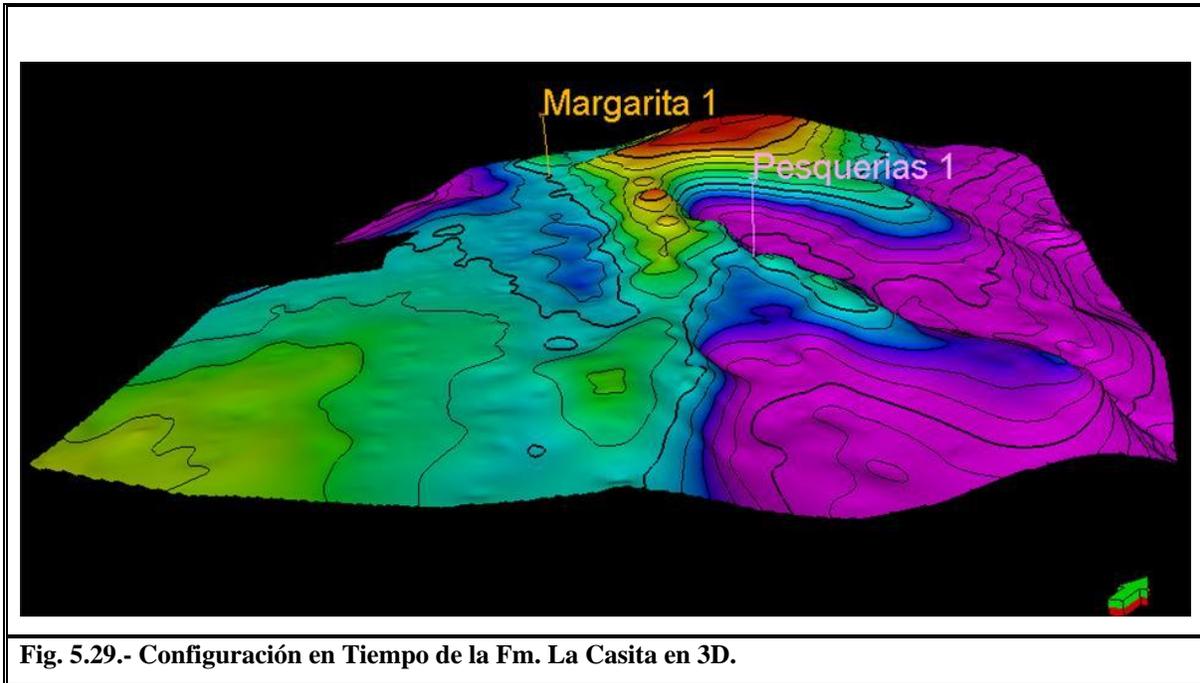


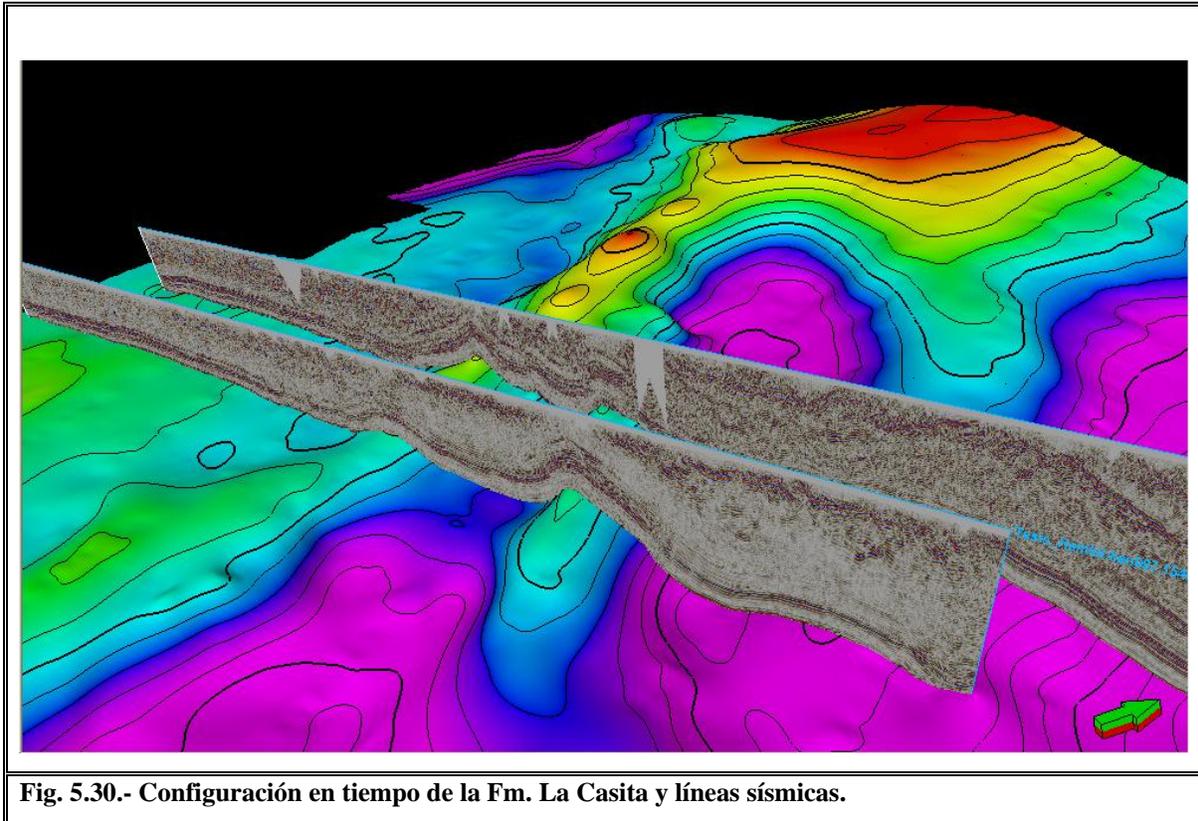
Fig. 5.29.- Configuración en Tiempo de la Fm. La Casita en 3D.

Se pueden observar dentro de la imagen los pozos Margarita-1 y Pesquerías-1, el primero ubicado en una parte plana y el segundo en un anticlinal que es una estructura que forma parte a profundidad de la Sierra de Papagayos.

Al igual que en la imagen anterior los colores en rojo indican las partes altas y los colores púrpuras las partes mas profundas.

En la figura 5.30 se pueden observar dos líneas sísmicas y la configuración en tiempo de la Fm. La Casita, aquí se aprecia la continuidad de las estructuras gracias a la configuración en tiempo, se observan cuatro anticlinales dentro de las dos líneas que corresponden a dos alineamientos diferentes.

Se observa como hacia el Este del área de estudio se registran las partes mas profundas dentro de la configuración, esto corrobora que hacia esta parte del área el basamento tiende a profundizarse.



Las partes en púrpura que se ubican totalmente al Este del área en gran parte corresponden al inicio de la Cuenca de Burgos, también se pueden observar partes bajas al centro del área inclusive al NNW pero estas son independientes totalmente de la Cuenca de Burgos.

En la figura 5.31 se puede observar el mapa correspondiente a la Formación La Casita, también se observa la paleta de colores utilizada que va de -0.3 a -2.3 segundos o -300 a -2300 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

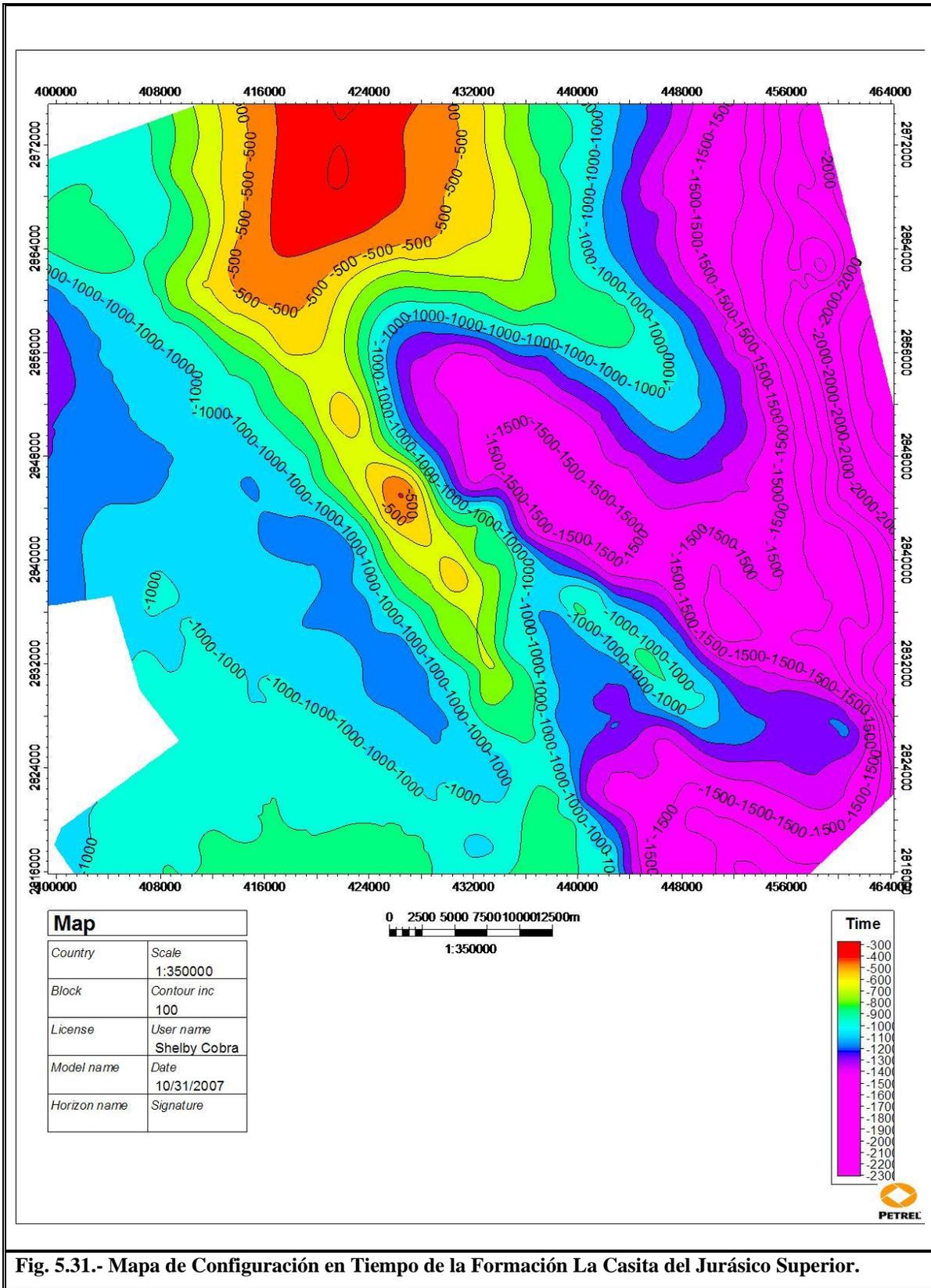
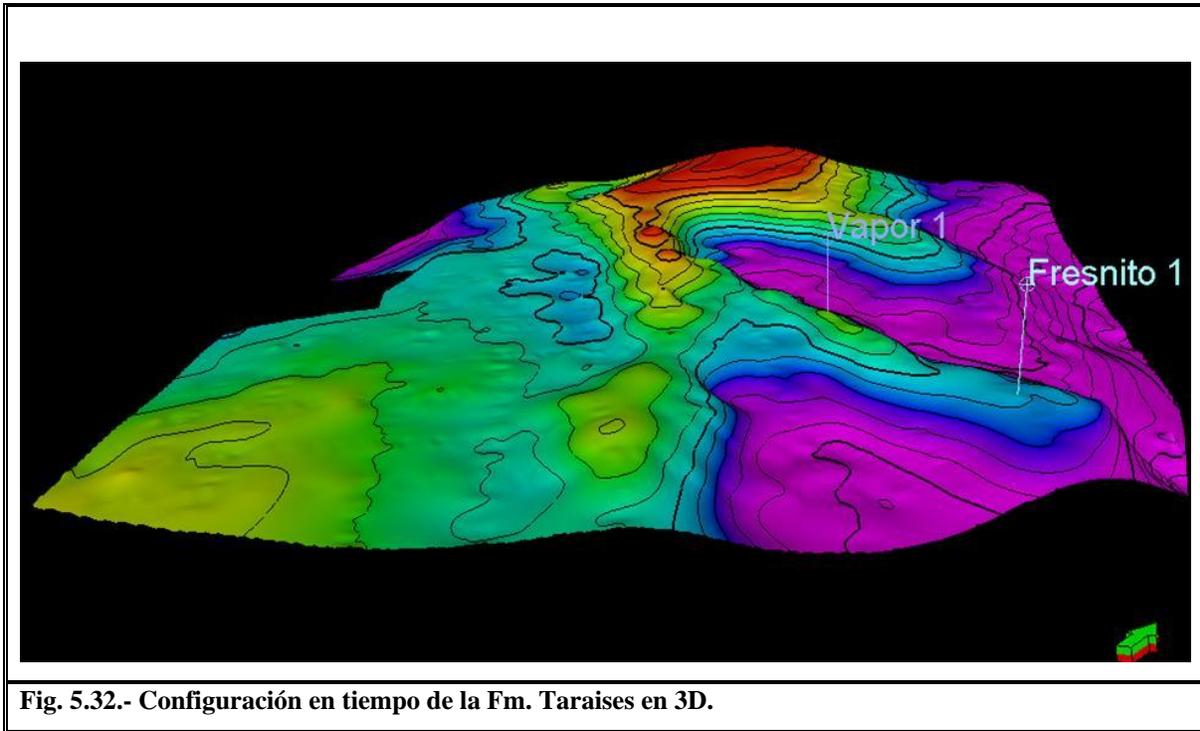


Fig. 5.31.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación La Casita del Jurásico Superior.

**Formación Taraises Cretácico Inferior:**

En la figura 5.32 se observa la configuración en tiempo de la Formación Taraises, esta Formación es considerada como roca almacén (Román y Holguín, 2001) y es ideal su posición ya que se encuentra sobre la Fm. La Casita que es roca generadora.



**Fig. 5.32.- Configuración en tiempo de la Fm. Taraises en 3D.**

En la imagen se pueden apreciar los pozos Vapor-1 y Fresnito-1, ambos sobre las crestas de la misma estructura pero en diferente posición y a diferente altura como se observa gracias a la configuración el pozo Vapor-1 se encuentra en una posición mas alta que el pozo Fresnito-1 que se encuentra a su vez cercano al fin de esta estructura.

En la figura 5.33 se observan dos líneas sísmicas en conjunto con la configuración en tiempo, como se ya se ha mencionado la flecha indica el sentido del Norte dentro de la imagen, se observa como la configuración sigue la morfología de las líneas sísmicas mostrando altos estructurales y bajos en donde se presentan en las líneas, se observa entre los dos anticlinales una parte profunda, un sinclinal que de acuerdo a la configuración se hace mas profundo hacia la parte SSW del área de estudio.

Se puede observar dentro de la configuración en tiempo y en las líneas, la vergencia opuesta que presentan los anticlinales al Este de la imagen lo cual se describe a detalle mas adelante. También es notable como la topografía en las líneas y la configuración en tiempo es más suave al Oeste del área de estudio.

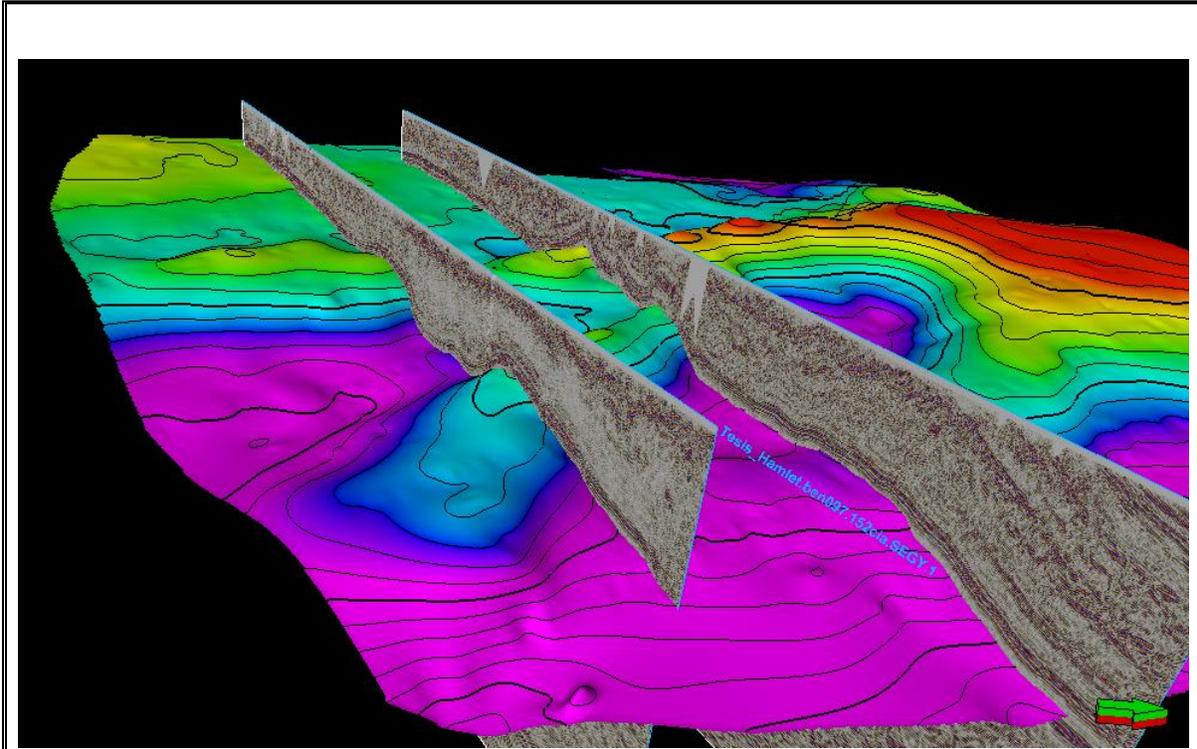


Fig. 5.33.- Configuración en tiempo de la Fm. Taraises y líneas sísmicas.

Las imágenes anteriores corresponden a la configuración de la Fm. Taraises en 3D a continuación se observa la misma configuración pero vista en planta.

En la figura 5.34 se puede observar el mapa correspondiente a la Formación Taraises, a su vez también se observa la paleta de colores utilizada que va de -0.2 a -2.2 segundos o -200 a -2200 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

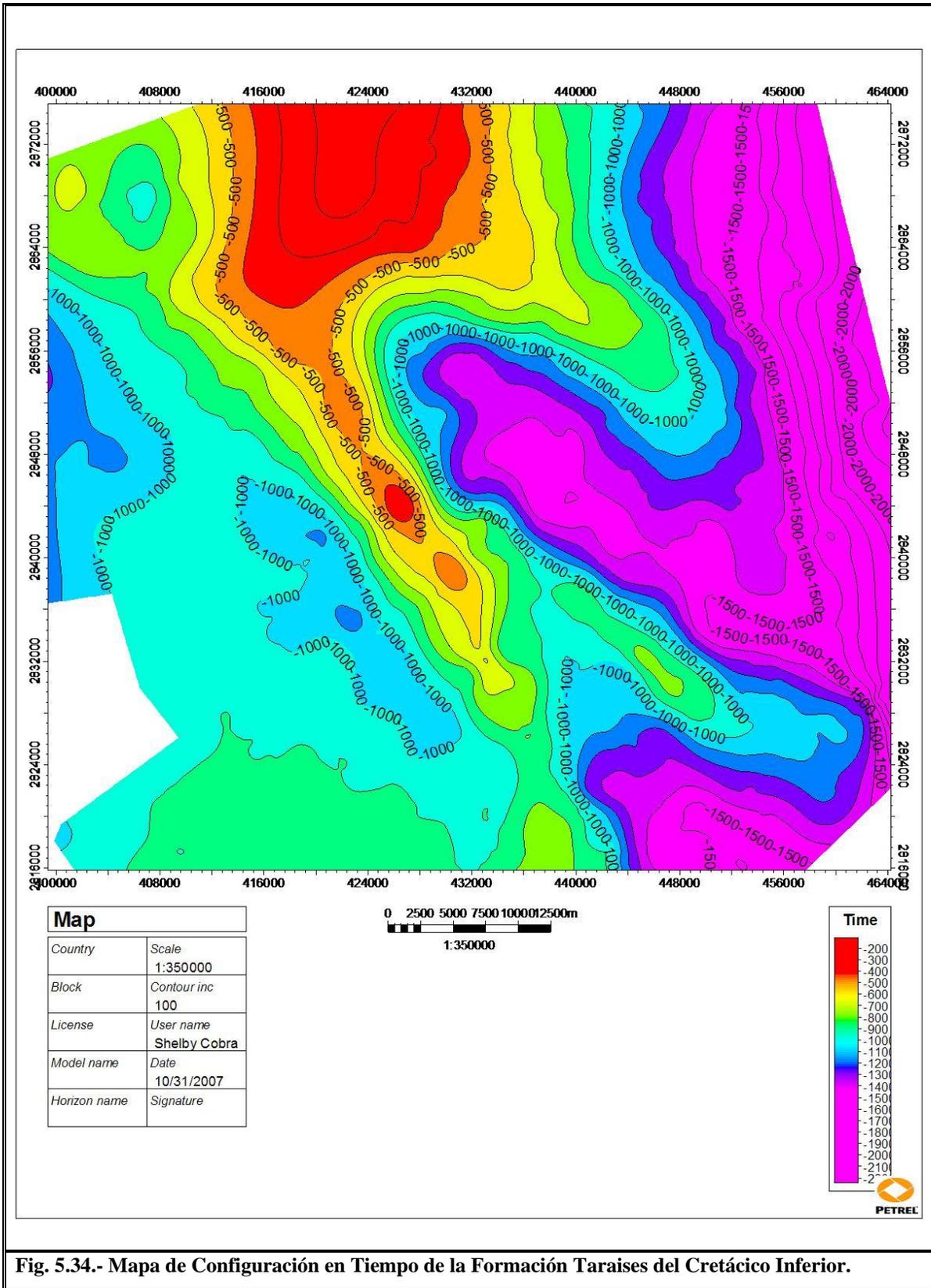
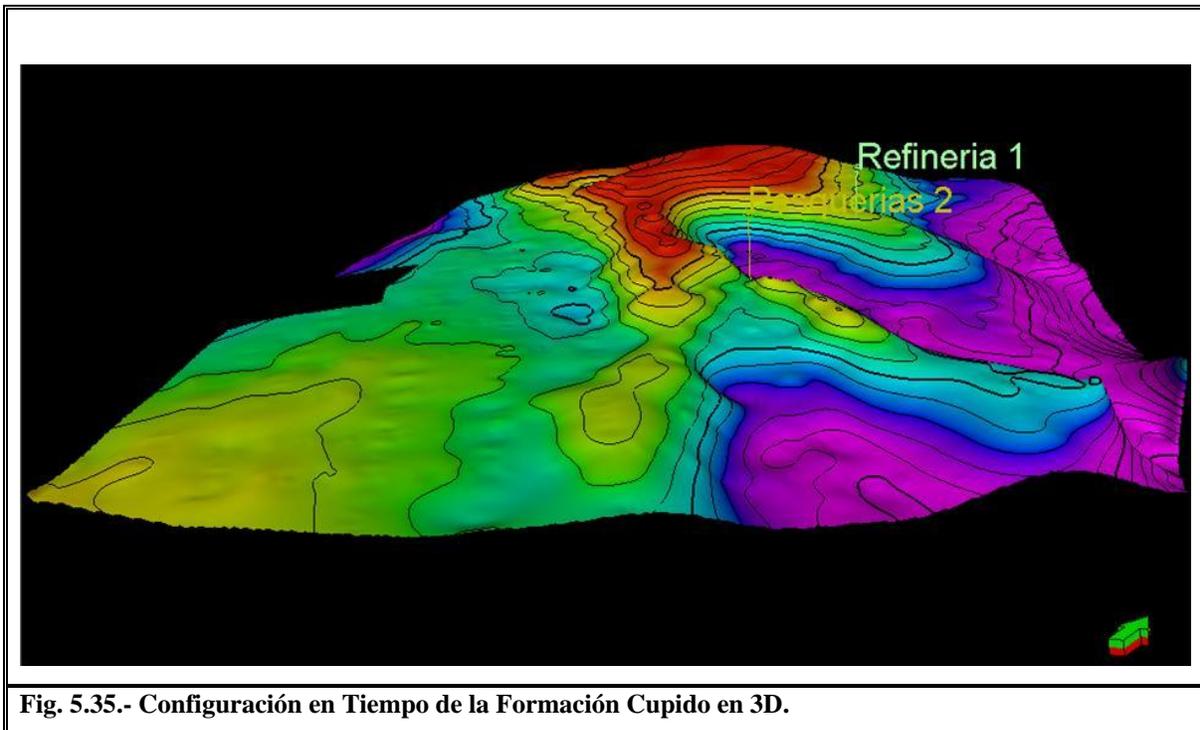


Fig. 5.34.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Tarais del Cretácico Inferior.

**Formación Cupido Cretácico Inferior:**

En la figura 5.35, se observa la configuración en tiempo correspondiente a la Formación Cupido. Esta Formación es considerada como roca sello y almacén (Román y Holguín, 2001), por lo que se tendría entonces el play completo contando con que la Formación La casita es roca generadora y Taraises roca almacén (Román y Holguín, 2001).

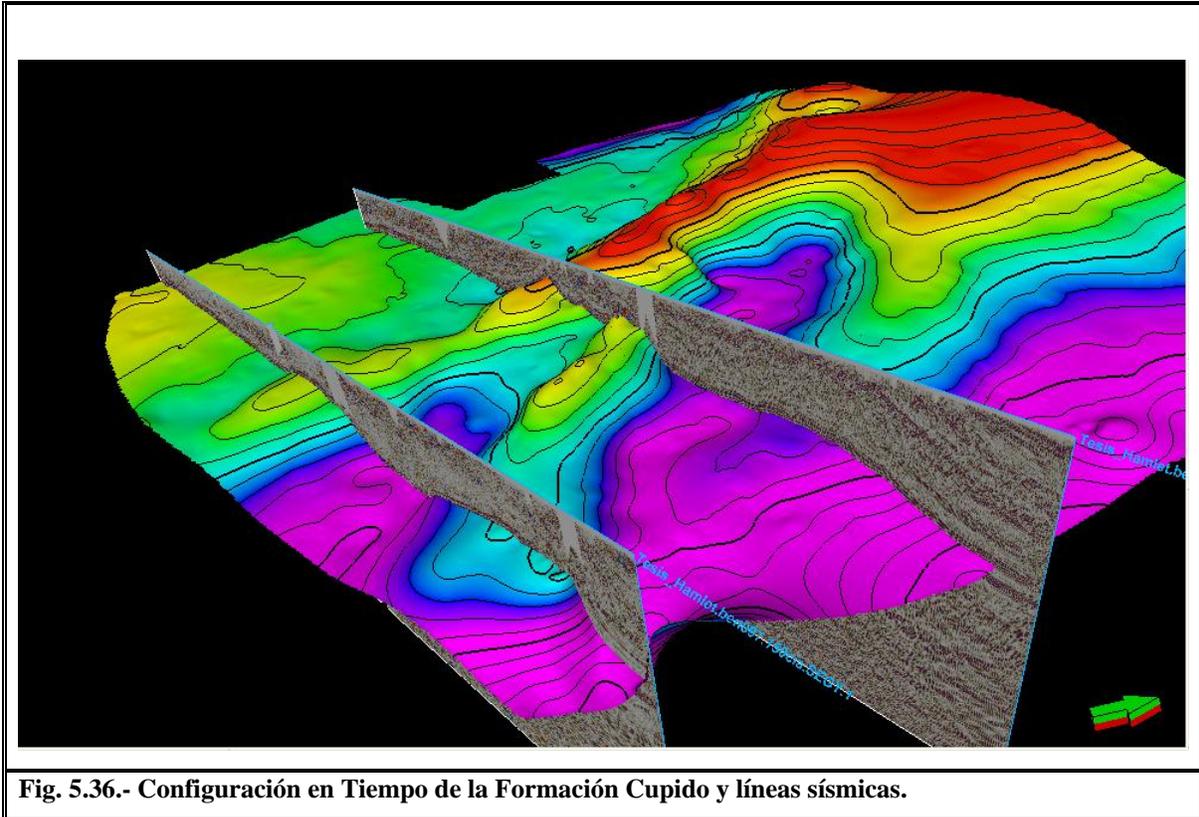


**Fig. 5.35.- Configuración en Tiempo de la Formación Cupido en 3D.**

Se pueden observar de igual manera dentro de la imagen a los pozos Refinería-1 y Pesquerías-2, el primero totalmente sobre la parte mas alta de la estructura sobre la cual se ubica y el segundo sobre otra estructura pero ligeramente flanqueado.

En la siguiente imagen (Fig. 5.36), se observa al igual que en las configuraciones anteriores la correspondiente a la Formación Cupido con dos líneas sísmicas, hasta el momento se han mostrado las líneas que representan las zonas mas deformadas dentro del área, se a conservado la línea 178 en la mayoría de las imágenes por ser esta la mas larga de Oeste a Este.

Se observa dentro de la sísmica específicamente en la línea 178 que es la que se aprecia más al centro dentro de la imagen y de la configuración, la presencia de los sedimentos del Terciario sobre la parte que se encuentra al NE de la línea y se observa a su vez como coincide con la parte mas baja dentro de la configuración que como ya se ha mencionado en esta zona los colores púrpuras nos representan el inicio de la Cuenca de Burgos.



Al igual que con las configuraciones anteriores se mostrara ahora la configuración en tiempo vista en planta, en esta misma imagen se aprecia como dentro de las mismas partes bajas se encuentran partes aparentemente aisladas mas bajas estructuralmente.

En la figura 5.37, se puede observar el mapa correspondiente a la Formación Cupido a su vez también se observa la paleta de colores utilizada que va de -0.1 a -2.1 segundos o -100 a -2100 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

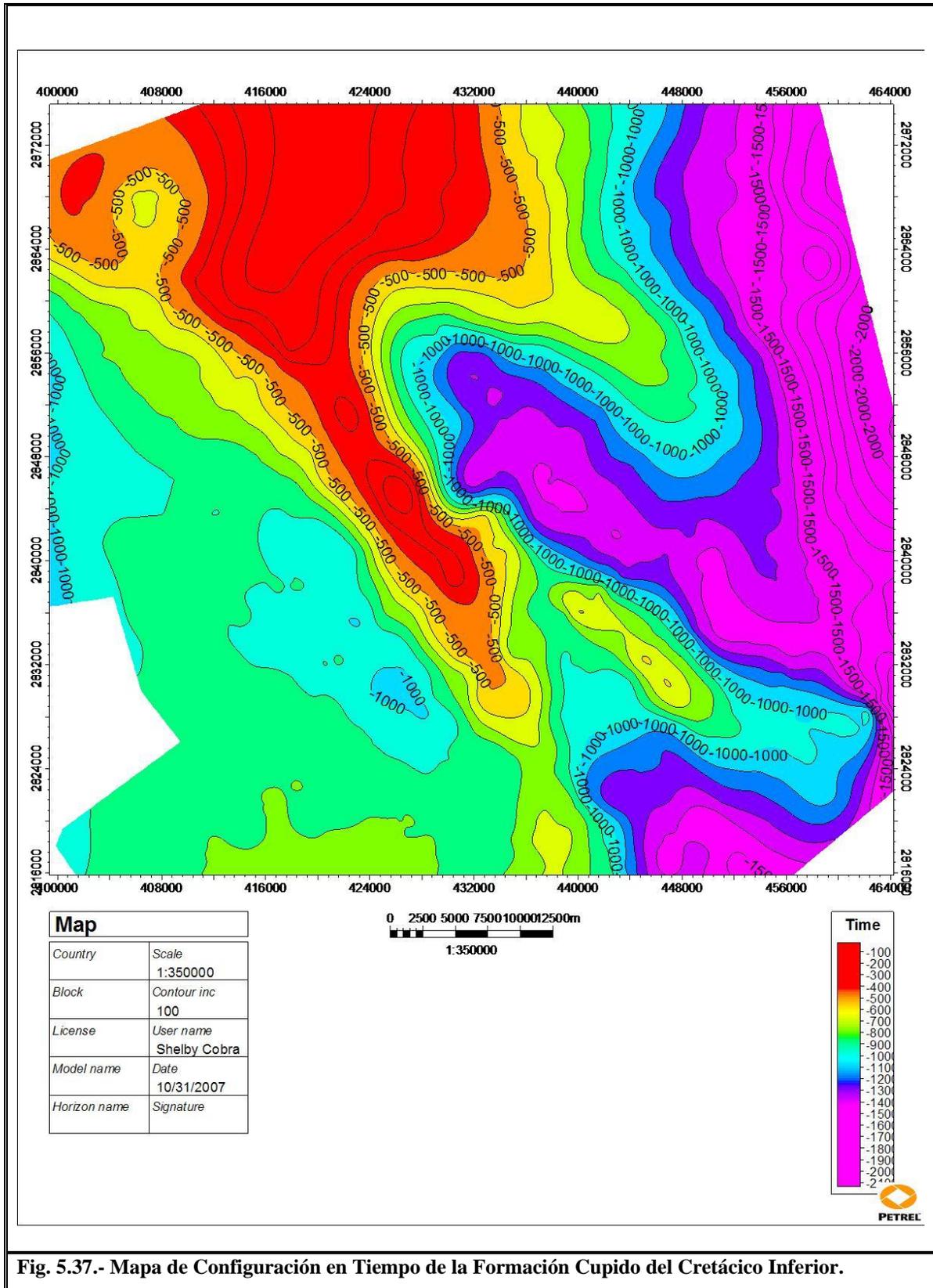
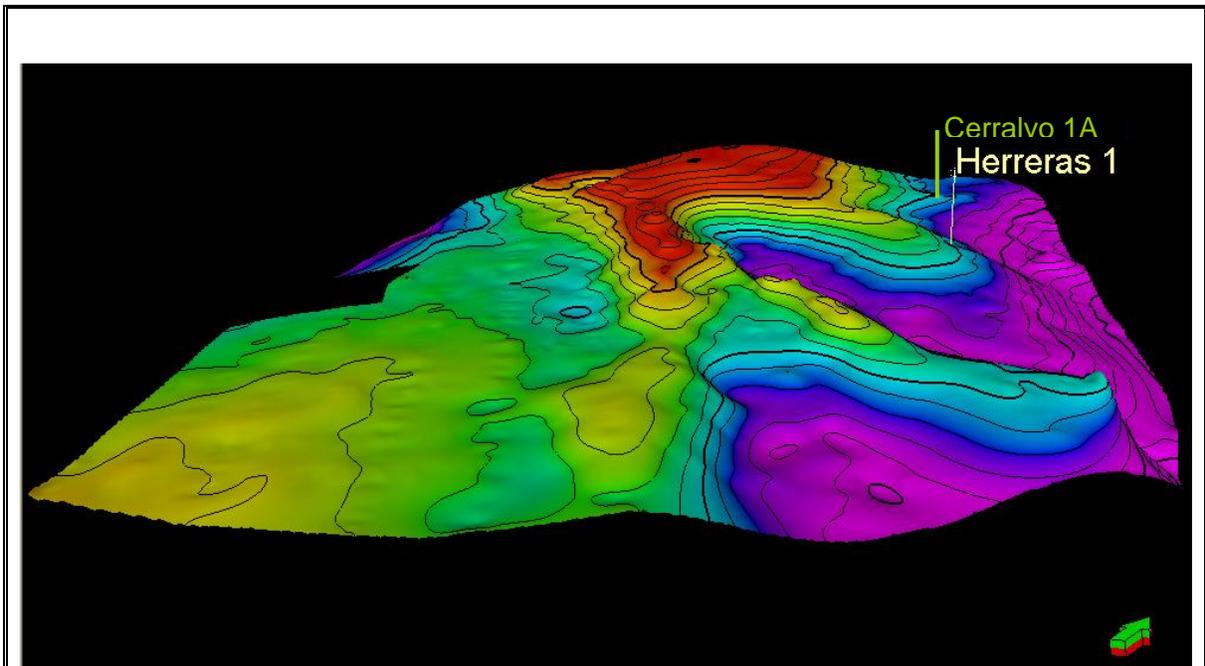


Fig. 5.37.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Cupido del Cretácico Inferior.

**Formación La Peña Cretácico Inferior:**

En la figura 5.38, se observa la configuración en tiempo correspondiente a la Formación La Peña, esta formación al igual que La Casita es de gran importancia dentro del área de estudio ya que también es considerada como roca generadora y a su vez roca sello (Román y Holguín, 2001), esto es debido a que dentro de la misma Formación se tiene una combinación de diferentes litologías en este caso esta constituida por *mudstone* arcilloso gris oscuro y negro con lentes y bandas de pedernal negro, en alternancia con margas arenos carbonosas de estratificación delgada.



**Fig. 5.38.- Configuración en Tiempo de la Formación La Peña en 3D.**

Dentro de la imagen se puede observar la ubicación de los pozos Cerralvo-1A y Herrerias-1, se observa al pozo Herrerias-1 ubicado sobre uno de los flancos de la estructura en la que se perforo, detrás se puede observar otra estructura sobre la cual se perforo el pozo Cerralvo-1A el cual se ubica en uno de los flancos del anticlinal.

En la imagen 5.39, se puede apreciar una variante en la forma en que se han mostrado las configuraciones en las imágenes anteriores, como se ha mencionado la flecha nos indica el Norte dentro de la imagen, lo que se aprecia es la parte Norte del área de estudio, se puede notar como hacia la parte media del área se observan las partes mas altas.

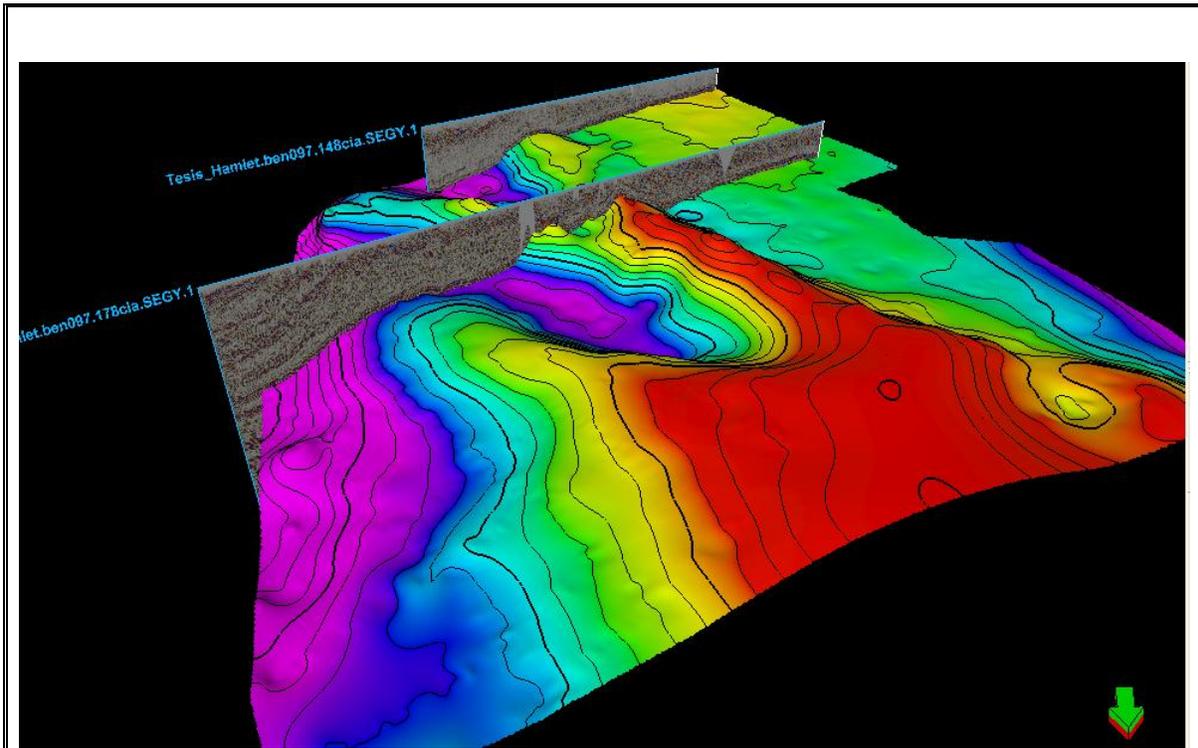


Fig. 5.39.- Configuración en Tiempo de la Formación La Peña y líneas sísmicas.

Se aprecia dentro de la imagen una gran parte en color rojo que como ya se ha dicho indica las partes mas altas estructuralmente para esta configuración, y estos altos corresponden en parte a la Sierra de Papagayos. Se observa de igual manera una cuenca de regular tamaño al Este de la Sierra de Papagayos. También se pueden observar desde esta imagen las partes en color púrpura hacia el Este de la configuración las cuales corresponden al Inicio de la Cuenca de Burgos.

En la figura 5.40, se puede observar el mapa correspondiente a la Formación La Peña, a su vez también se observa la paleta de colores utilizada que va de 0 a -2 segundos o 0 a -2000 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

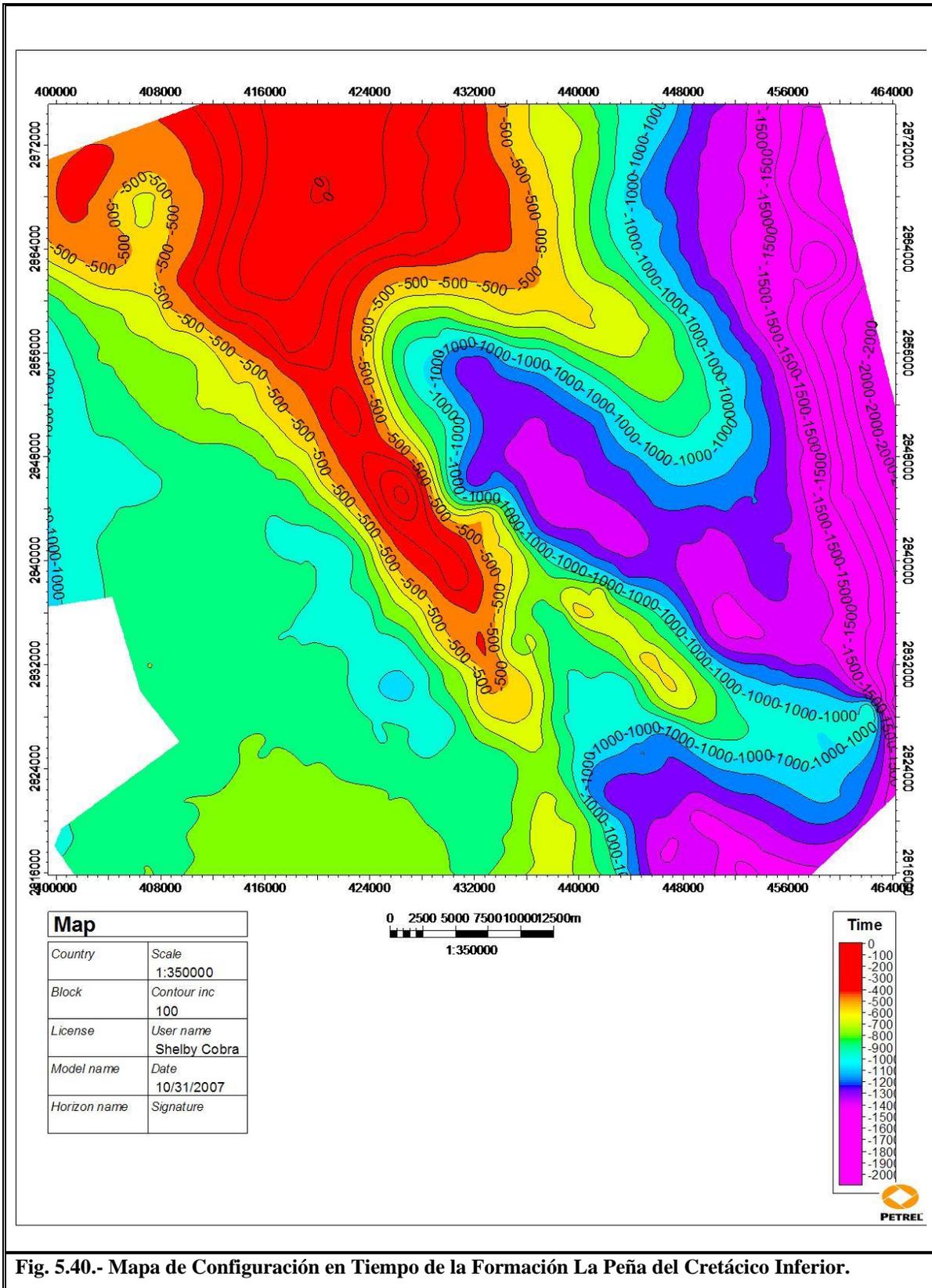
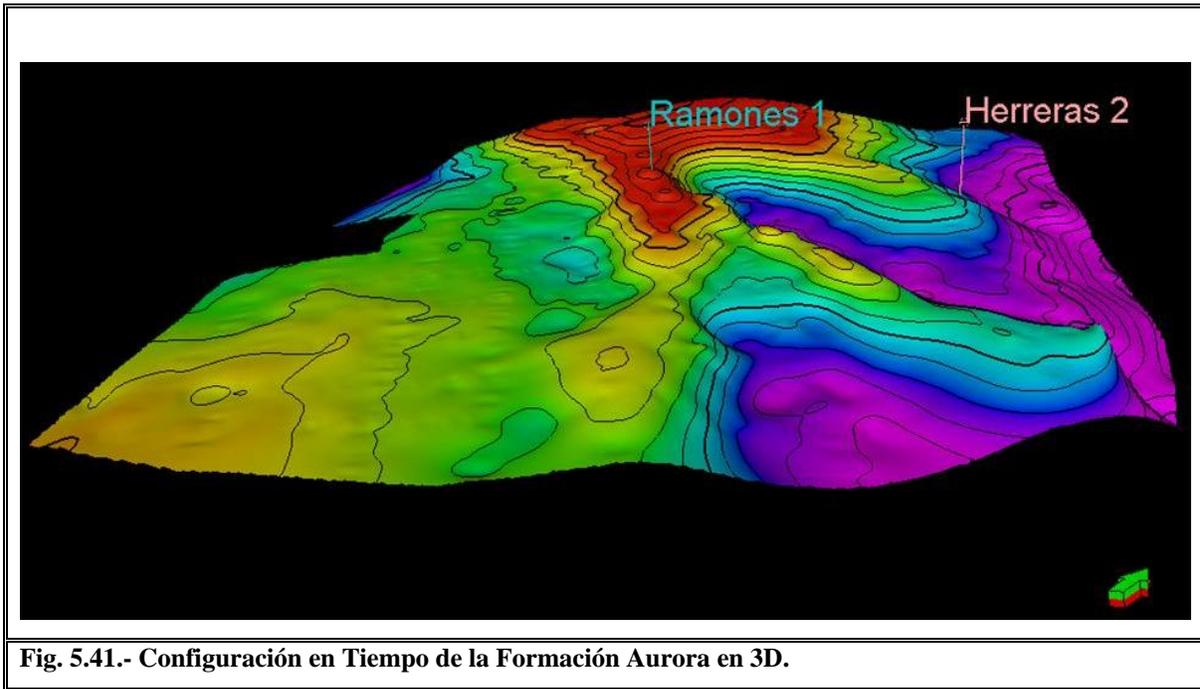


Fig. 5.40.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación La Peña del Cretácico Inferior.

**Formación Aurora Cretácico Inferior:**

En la figura 5.41, se observa la configuración en tiempo de la Formación Aurora, esta Formación se caracteriza por ser roca almacén (Román y Holguín, 2001) en el área de estudio y al igual que la Formación Taraises su posición estratigráfica es ideal ya que sobreyace a la Formación La Peña que como ya se menciona es roca generadora y con esto se tiene parte del play.

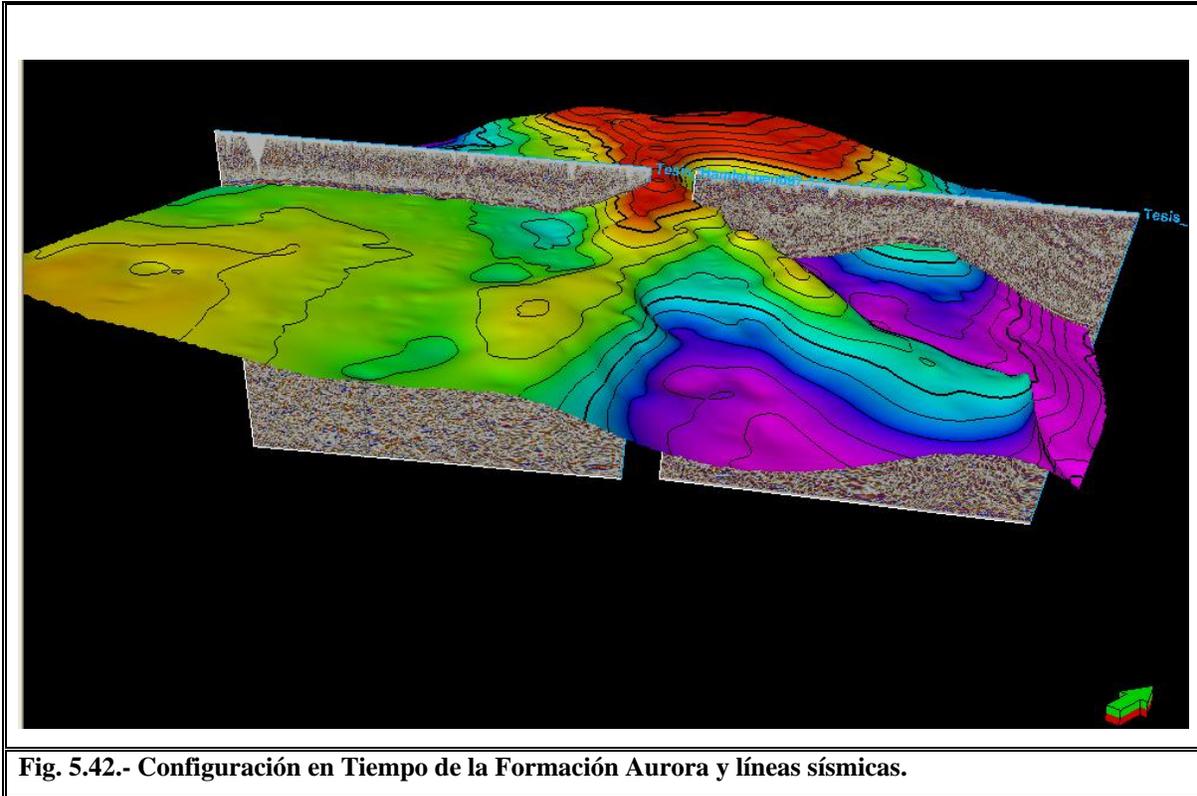


**Fig. 5.41.- Configuración en Tiempo de la Formación Aurora en 3D.**

Se puede apreciar de igual manera la ubicación de los pozos Ramones-1 y Herrerias-2, el pozo Ramones-1 se encuentra sobre la estructura correspondiente a la Sierra de Papagayos ligeramente flanqueado, el pozo Herrerias-2 se encuentra en el flanco del anticlinal que se observa en la imagen.

Como se menciona con anterioridad la parte en la cual se observa el alto correspondiente a la Sierra de Papagayos no se adquirió en la sísmica realmente, pero dentro de la configuración en tiempo esta parte se pudo interpolar de tal manera que esta permite observar la estructura completa.

En la figura 5.42, se puede apreciar la interpolación a la cual se a hecho referencia, al NW del área se observa a la línea 158 y al NE a la línea 156, es evidente que entre ambas existe un espacio en blanco, mientras que en la configuración en tiempo este espacio no existe ya que se llevo a cabo la interpolación, esta interpolación se realizo para cada una de las configuraciones presentadas en este trabajo.



En esta imagen también se observa como al Oeste del área la topografía es mas suave que en la parte central y en la parte Este del área, en la línea 156 se aprecia al igual que en la línea 178 como los colores púrpuras coinciden con la profundización hacia la Cuenca de Burgos y en el extremo superior derecho de la línea se comienzan a observar los sedimentos del Terciario.

En la figura 5.43, se puede observar el mapa correspondiente a la Formación Aurora, a su vez también se aprecia la paleta de colores utilizada que va de 0 a -2 segundos o 0 a -2000 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

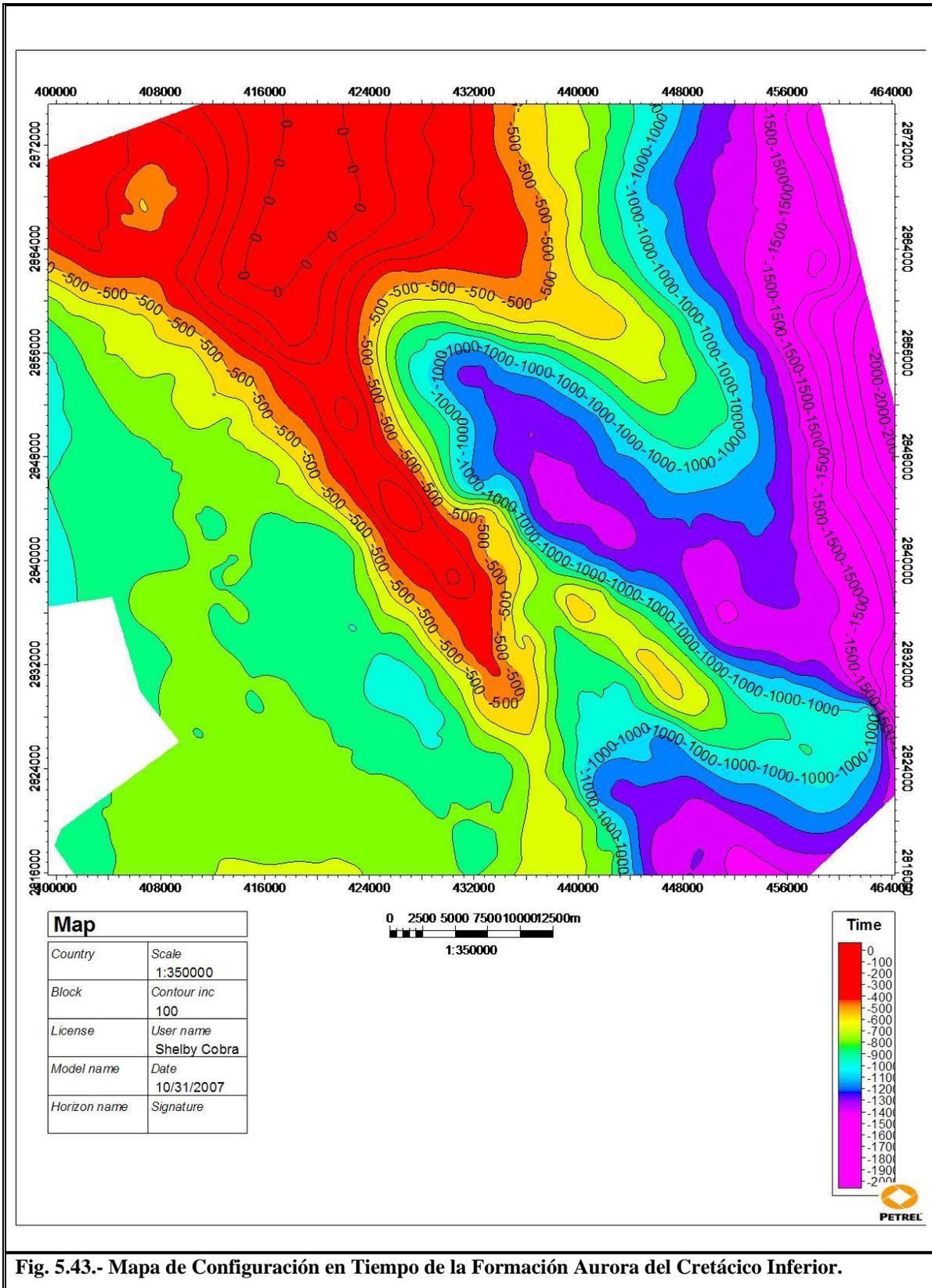


Fig. 5.43.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Aurora del Cretácico Inferior.

### Formación Cuesta del Cura Cretácico Superior:

En la figura 5.44, se puede apreciar la configuración en tiempo de la Formación Cuesta del Cura, estratigráficamente es una de las más altas de acuerdo a las configuraciones realizadas ya que solo se llega hasta la Formación Agua Nueva.

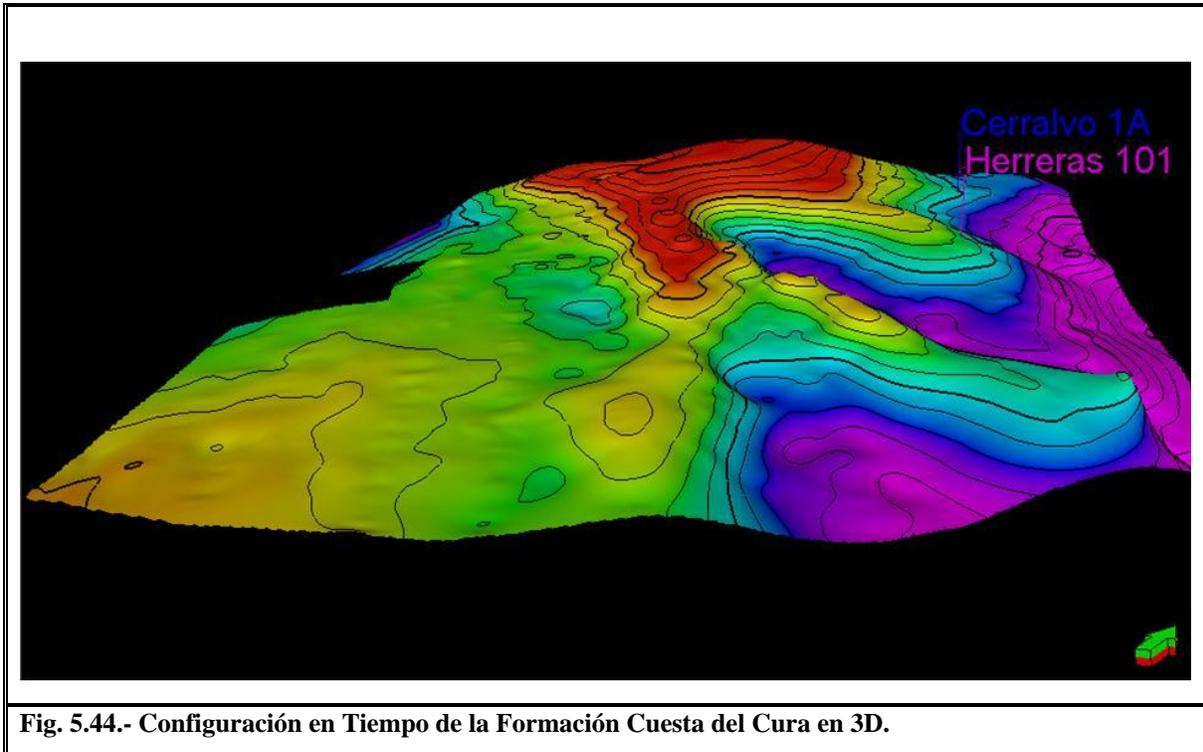
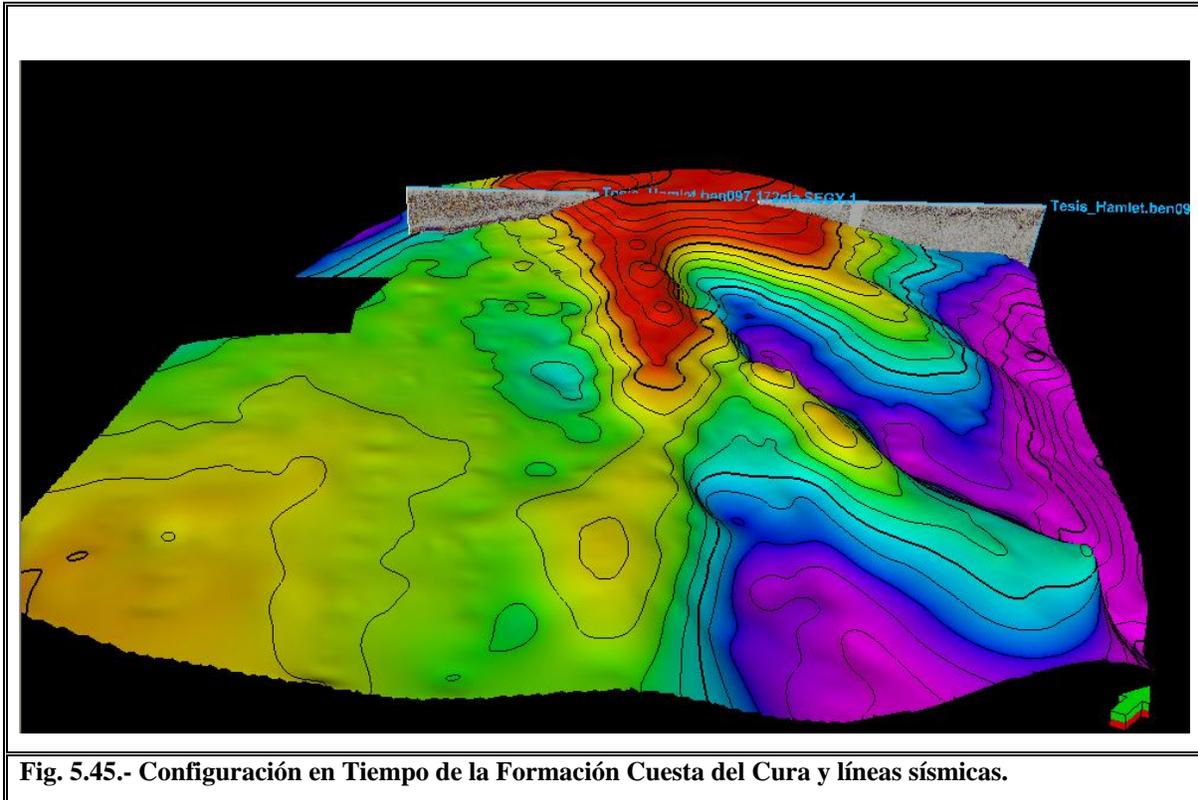


Fig. 5.44.- Configuración en Tiempo de la Formación Cuesta del Cura en 3D.

Se observa dentro de la imagen la ubicación de los pozos Herreras-101 y Cerralvo 1A, el pozo Cerralvo-1A fue mencionado anteriormente, en cuanto a los pozos Herreras todos se encuentran sobre una misma estructura pero en diferente posición, en el caso del pozo Herreras-101 es el pozo de los tres Herreras que se encuentra mas hacia la cima del anticlinal, pero aun así se encuentra en uno de los flancos de la estructura que se observa en la configuración en tiempo.

En la figura 5.45, se observan dos líneas sísmicas ubicadas en la parte superior del área de estudio, una al NW y otra al NE, se puede observar como al igual que en las líneas la configuración tiende a ascender hacia el centro del área.



Al igual que en la configuración anterior se puede observar como las líneas no son continuas entre si y sin embargo en la configuración en tiempo todo es continuo, esto es gracias a la interpolación que se realizo para poder visualizar toda la estructura.

En la figura 5.46, se puede observar el mapa correspondiente a la Formación Cuesta del Cura, a su vez también se observa la paleta de colores utilizada que va de 1 a -2 segundos o 100 a -2000 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

Los números negativos significan que estas partes se encuentran en el subsuelo, aquí aparecen números positivos y esto es porque dentro de la interpolación hay partes que afloran hacia la Sierra de Papagayos.

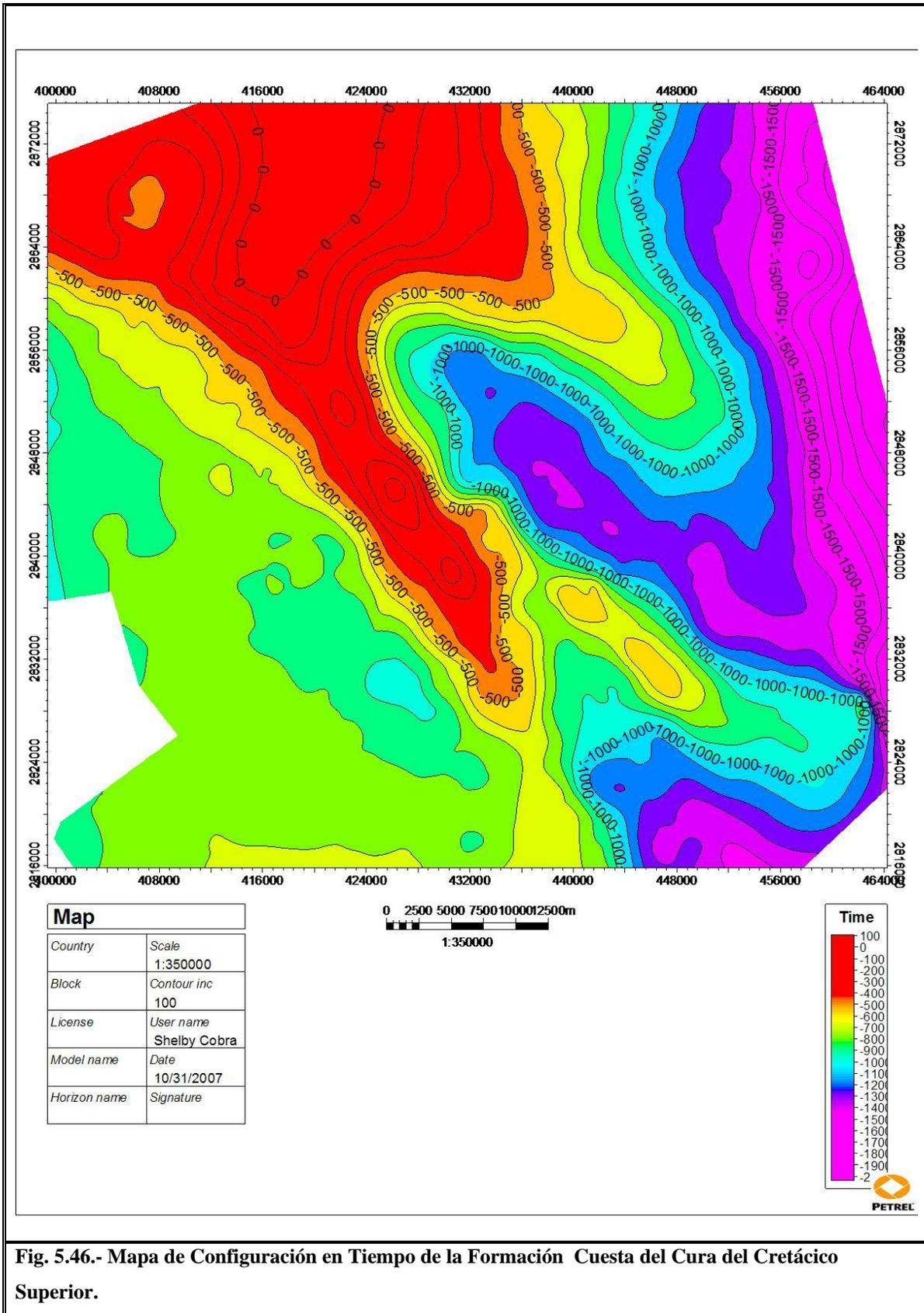
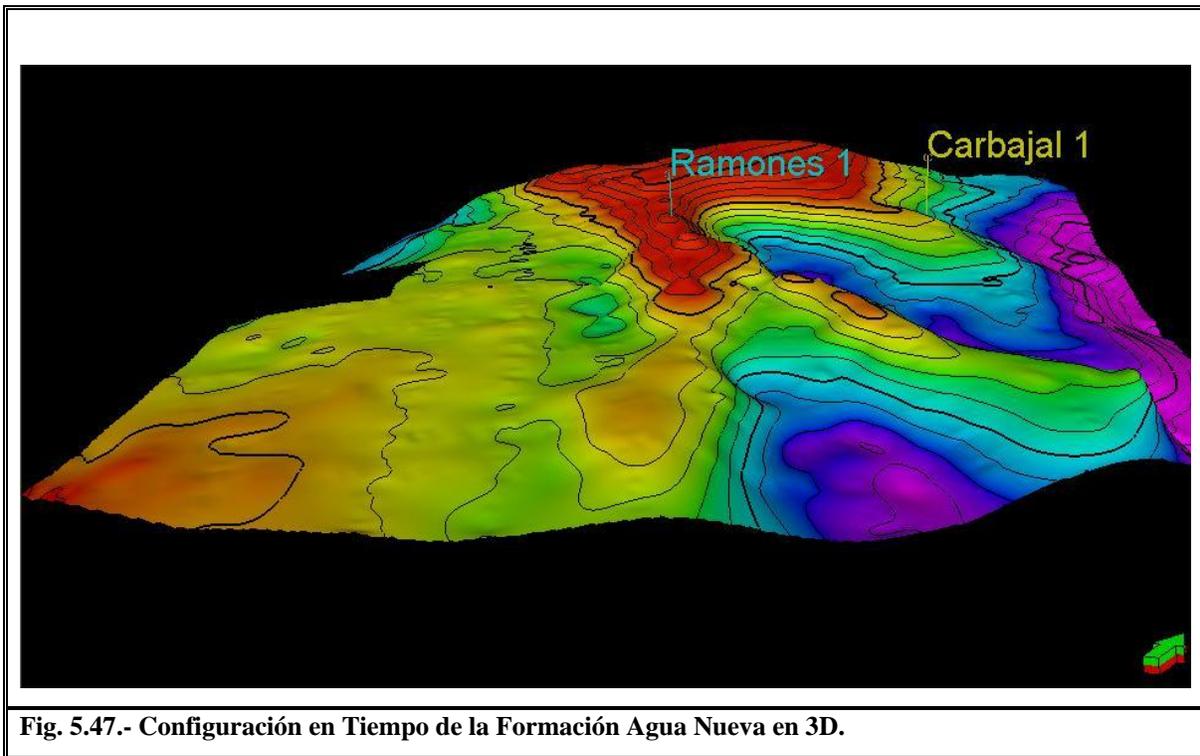


Fig. 5.46.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Cuesta del Cura del Cretácico Superior.

**Formación Agua Nueva Cretácico Superior:**

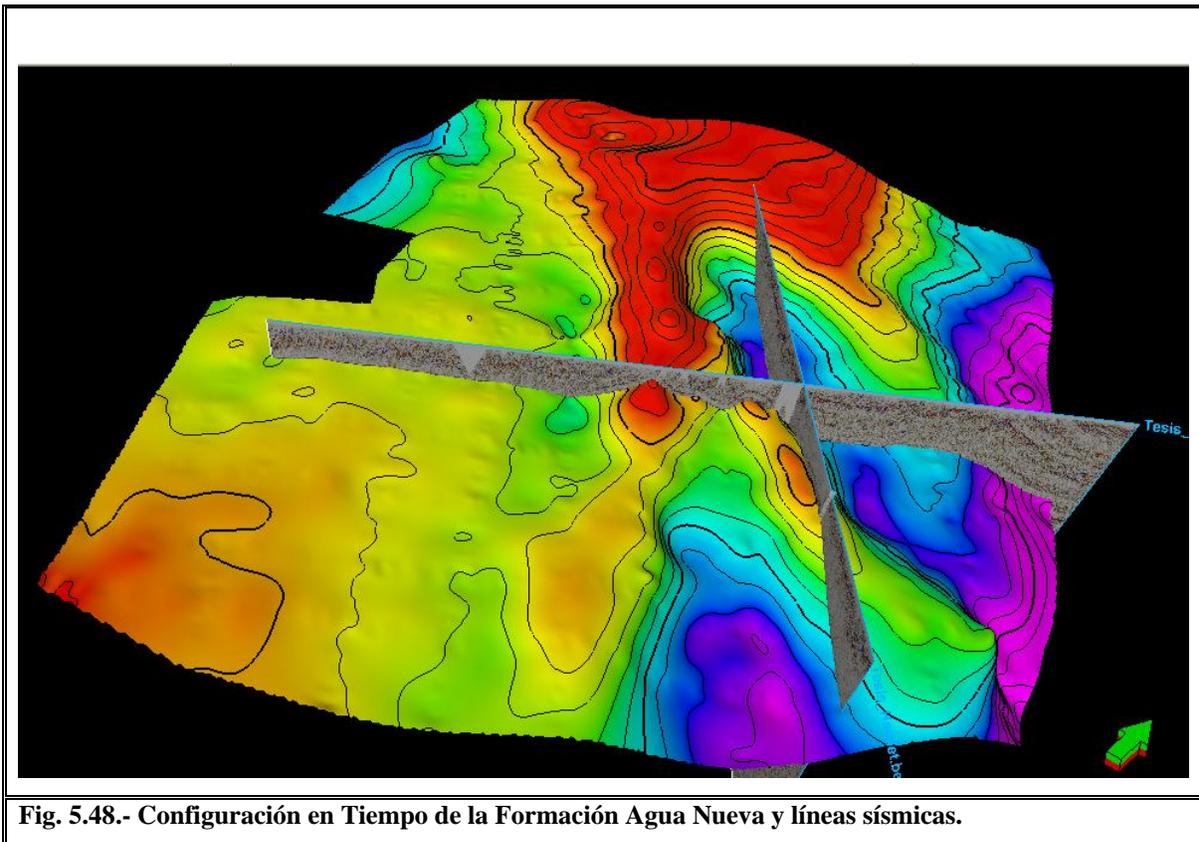
Por último se tiene a la Formación Agua Nueva con su respectiva configuración en tiempo que se aprecia en la figura 5.47, esta Formación es la más cercana al subsuelo entre las configuraciones realizadas y como se ha mencionado con anterioridad el configurar la Formación San Felipe represento muchos problemas debido principalmente a los reflectores discontinuos y caóticos que se encuentran dentro de ella, razón por la que se realizo el trabajo hasta la Formación Agua Nueva.



**Fig. 5.47.- Configuración en Tiempo de la Formación Agua Nueva en 3D.**

Los pozos Ramones-1 y Carbajal-1 se pueden apreciar dentro de la imagen, del pozo Ramones-1 se hablo con anterioridad y sobre el pozo Carvajal se puede ver que se encuentra sobre el flanco de la estructura que se aprecia en la configuración, la mayoría de estos pozos son muy antiguos y lo mas probable es que el objetivo de la gran mayoría era encontrar aceite y no gas, motivo por el cual muchos de ellos se perforaron en los flancos de las estructuras como se observa en las imágenes y es hacia donde se pensó podría encontrarse almacenado el aceite.

En la figura 5.48, se aprecian dos líneas sísmicas en conjunto con la configuración en tiempo, se observa hacia la parte Este del área como se conservan los colores púrpuras que corresponden al inicio de la Cuenca de Burgos, hacia el centro del área se aprecia la parte mas alta estructuralmente hablando, que como ya se ha mencionado corresponde a la Sierra de Papagayos. Dando continuidad a la estructura de la Sierra de Papagayos se observan hacia el SE del área de estudio dos estructuras que parecen estar relacionadas con la Sierra antes mencionada, la estructura ubicada hacia el ESE se observa estructuralmente mas alta que la ubicada al WSW y entre estas dos estructuras se observa una parte profunda un sinclinal o cuenca que en otras configuraciones parece tener continuidad con los bajos correspondientes a la Cuenca de Burgos.



En la figura 5.49, se puede observar el mapa correspondiente a la Formación Agua Nueva a su vez también se observa la paleta de colores utilizada que va de 1 a -2 segundos o 100 a -2000 milisegundos, sus coordenadas y la escala que es 1:350,000.

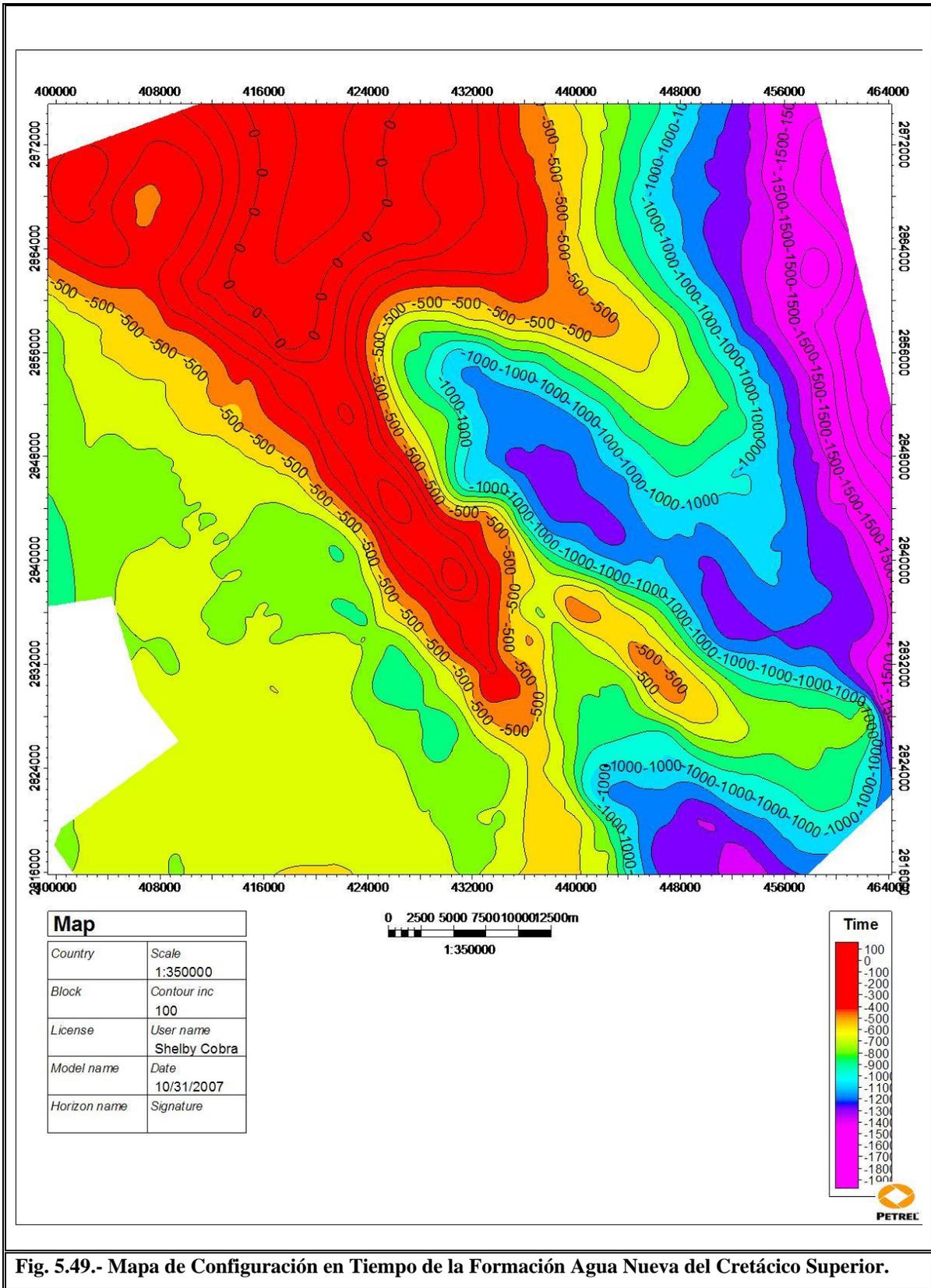


Fig. 5.49.- Mapa de Configuración en Tiempo de la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior.

#### **5.4. - Espesores y Descripción de Secciones Sísmicas**

El área comprendida en el área de estudio, es un área que se vió afectada tanto en la superficie como en el subsuelo por la Orogenia Laramide (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000), la morfología de esta área se encuentra en este estado, en gran parte por el evento Laramidico, asociado también al evento de la apertura del Golfo de México (Goldhammer, 1999).

En esta área se tienen zonas con una deformación suave o nula y partes deformadas que muestran en su mayoría pliegues por despegue (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000), así mismo se sabe que el área esta constituida por bloques de basamento mostrando altos y bajos.

A continuación se describen algunas de las líneas del área de estudio, se seleccionaron las que representaron mayor interés para el trabajo ya que el número total de líneas interpretadas fue de 30. En la figura 5.50, se aprecian en rojo y azul las líneas seleccionadas para la descripción en este trabajo, adicionalmente las líneas color azul se usaron para realizar modelos de espesores en partes importantes del área.

En todas las imágenes que se muestran en el eje “X” aparecen el número de CDP’S y en el eje “Y” se aprecia el tiempo en milisegundos.

También es importante definir que dentro de las imágenes que se muestran junto con los modelos de espesores los horizontes que aparecen en color corresponden a las formaciones: Olvido, La Casita, Taraises, Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva.

Se tienen datos para poder correlacionar el horizonte de la Fm. San Felipe, esto se realizó en un número limitado de secciones ya que los reflectores de dicha Formación se presentan discontinuos y muy caóticos, lo cual representa un problema que aunado a los escasos datos de graficas de tiempo vs. profundidad llevaron a la decisión de no correlacionar dicho horizonte en toda el área.

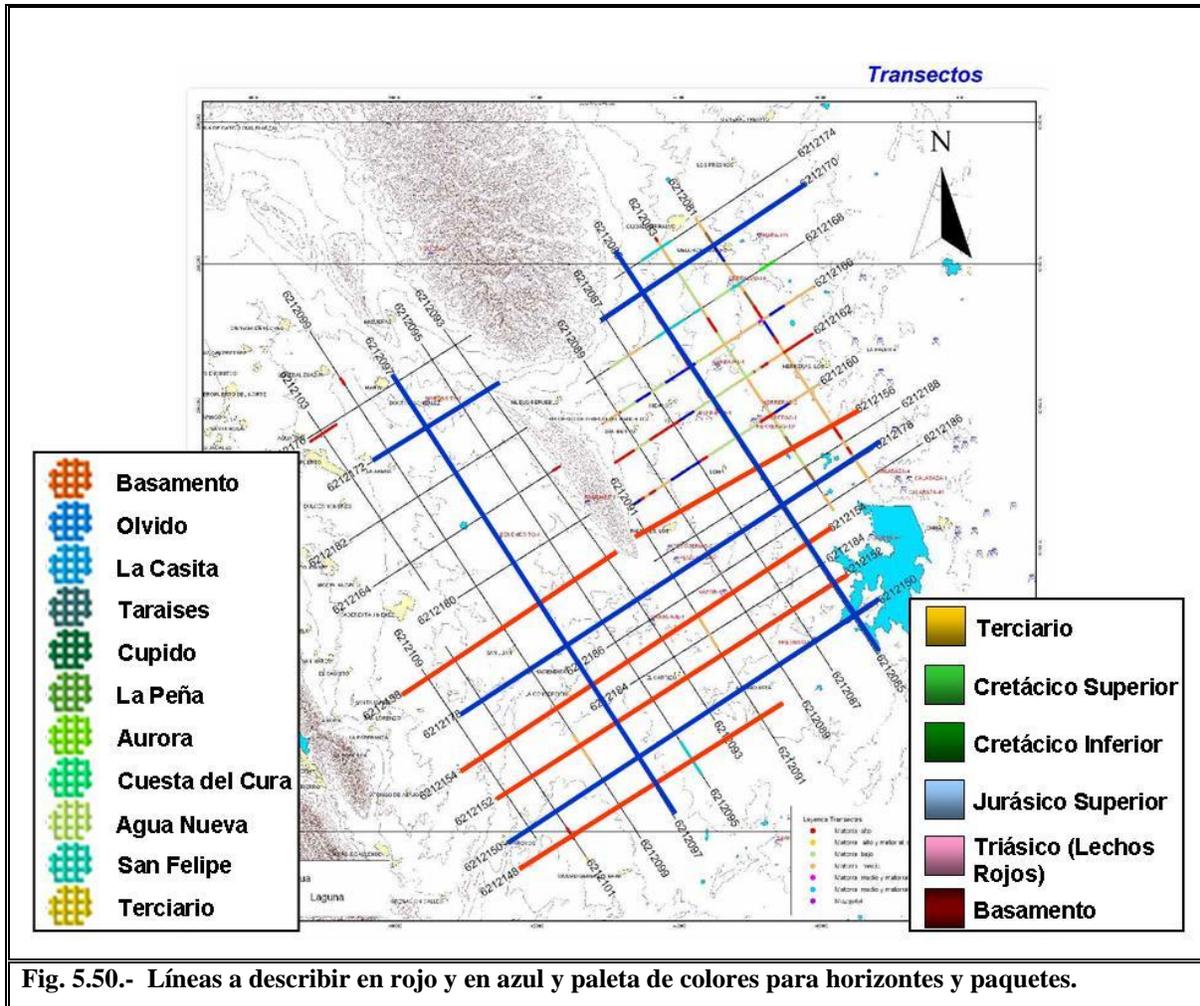


Fig. 5.50.- Líneas a describir en rojo y en azul y paleta de colores para horizontes y paquetes.

Como ya se mencionó algunas de las secciones seleccionaron para realizar modelos de espesores y algunas solo se seleccionaron en base a las estructuras que presentan, no se realizó un modelo de espesores para cada una de las líneas aquí mencionadas ya que la mayoría son paralelas y cercanas lo cual daría como resultado una redundancia de datos, se procuró realizar los modelos en los extremos y partes medias del área, tomando en cuenta también la longitud de las líneas. Dentro de las imágenes usadas solo para la descripción de fallas y aspectos estructurales, se observan tres horizontes que son los mismos que se usaron en todas las imágenes que no cuentan con modelos de espesores, estos horizontes son: La Casita, La Peña y Cuesta del Cura, se seleccionaron de esta manera en parte por la distancia que presentan entre ellos, ya que por el tamaño de la imagen horizontes cercanos no se distinguen del todo bien.



En la siguiente figura 5.52, se puede observar la misma línea 172 con algunas fallas trazadas cabe mencionar que se le dió énfasis a las fallas más resaltantes dentro de las líneas que se describen, ya que por cuestiones de escala las fallas más pequeñas no se apreciaban dentro de la imagen. Dentro de la imagen se pueden observar de izquierda a derecha tres fallas normales bajo los CDP'S 1158, 678 y 358, que se encuentran delimitando bloques caídos y altos basales, estos bloques muy probablemente tomaron esta posición debido a los esfuerzos distensivos de la apertura del Golfo de México en el Triásico (Goldhammer, 1999).

En el extremo inferior derecho bajo los CDP'S 198 y 38 se pueden observar un conjunto de tres fallas formando una estructura en flor positiva, este sistema de fallas parten de una falla base por así llamarlo y crecen hacia las partes frágiles que les permiten extenderse, en una sección estas estructuras tienen forma de flor (flower structure) y así se les denomina siendo positivas (+) las transpresivas y negativas (-) las transtensivas (Twiss y Moores, 1992), en este caso la falla base parece cortar sedimentos de acuerdo a lo que se observa, pero no se tiene la certeza de que sedimentos son ya que la correlación estratigráfica solo llega hasta la Fm. Olvido del Jurásico Superior.

En el extremo superior derecho bajo los CDP'S 198 y 38, también se pueden observar dos pequeñas fallas inversas afectando en este caso al horizonte correspondiente a la Fm. La Peña, de igual manera el horizonte correspondiente a la Fm. Cupido es afectado por estas dos fallas solo que por cuestiones de visibilidad no fue conveniente mostrar aquí los dos horizontes ya que están muy pegados, al parecer las fallas se extienden hasta llegar a la Fm. Cuesta del Cura pero en ese transepto la línea presenta algo de problemas y la información se hace menos visible así que no se puede asegurar que los horizontes están discontinuos por la presencia de fallas o bien por problemas de proceso.

También se puede observar como algunos sedimentos en la porción izquierda de la imagen se acunian contra el basamento, así como en los altos y bajos basales a lo largo de la sección pero se observan con menor claridad. En la parte superior se observan reflectores caóticos los cuales se interpretaron como canales aluviales dentro de la Fm. Méndez.

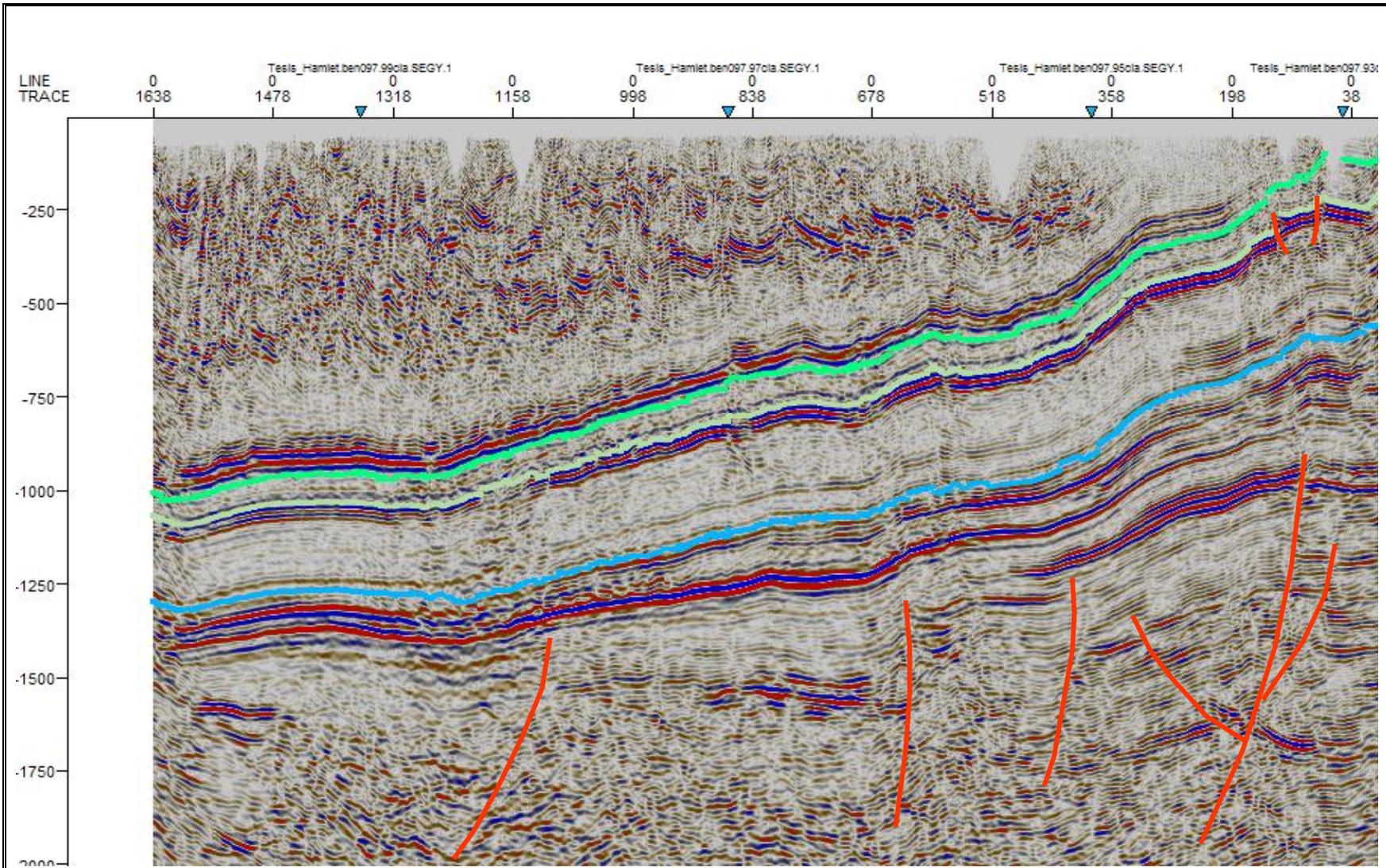
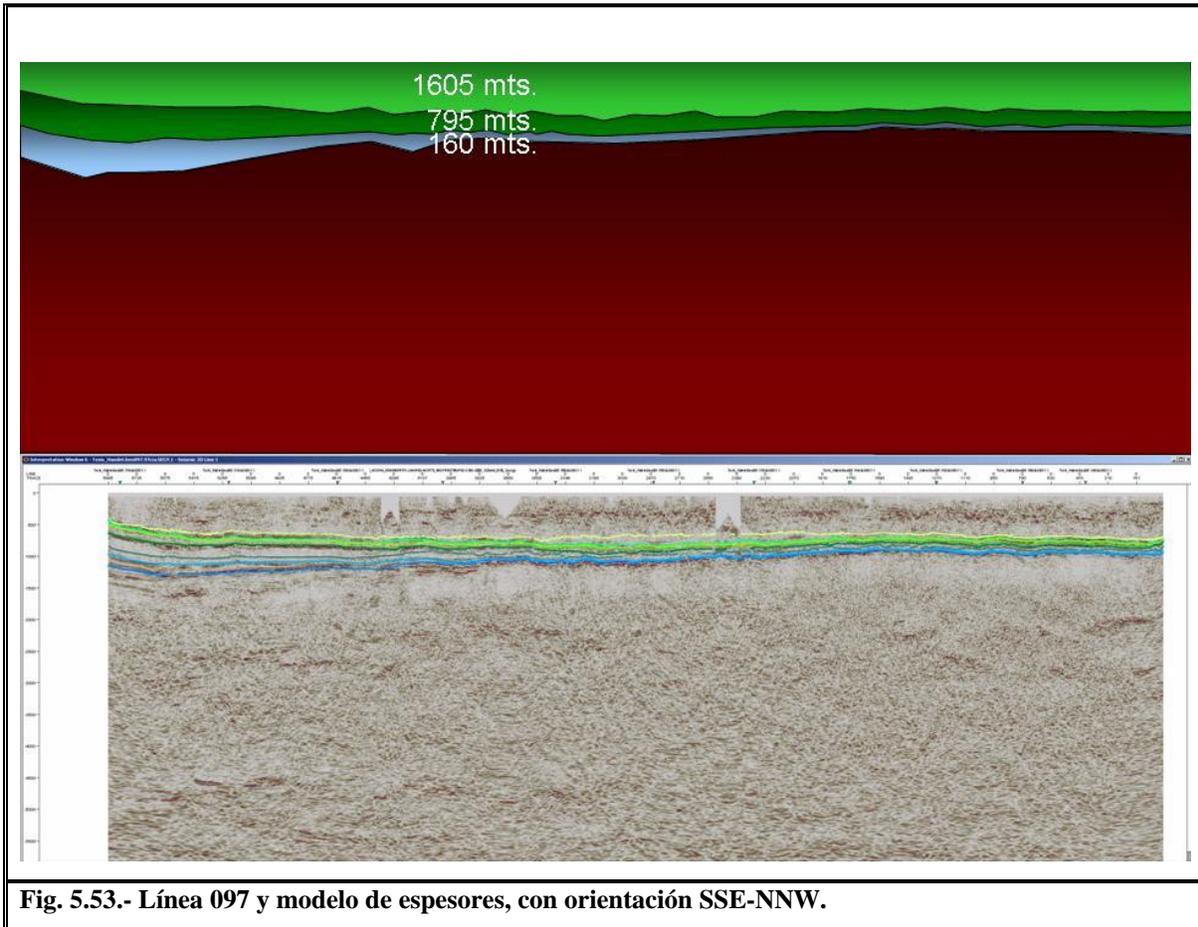


Fig. 5.52.- Línea 172 con orientación WSW-ENE.

La siguiente línea es la No. 097, esta línea es paralela a la deformación su orientación es SSE-NNW y tiene una longitud de 73.875 km, esta línea atraviesa a la gran mayoría de las líneas que se encuentran perpendiculares a ella, en la figura 5.53, se aprecia un modelo obtenido en base a lo observado en esta sección.



En esta línea al igual que en la anterior casi no se observa deformación, se tiene una topografía muy suave, en este caso esto se debe en gran parte a que la sección que observamos es paralela a la deformación. Se observa que la carpeta sedimentaria se hace más gruesa hacia el NW de la sección y adelgaza considerablemente hacia el SE de la misma, esto debido a la influencia del basamento. Se observaron en la parte central de esta sección espesores de 160 m para el Jurásico Superior, 795 m para el Cretácico Inferior y 1605 m para el Cretácico Superior, estos espesores son en base a la columna reportada por

el pozo Benemérito-1, el cual cortó basamento a una profundidad de 2560 m lo cual indica un total de sedimentos de 2560 m en el centro de esta sección.

En la siguiente figura 5.54, se puede observar la sección sísmica en donde aparecen un número pequeño de fallas, de las cuales ninguna abarca los sedimentos del Cretácico Superior.

Se observa tanto en la sección sísmica como en el modelo realizado que algunos sedimentos del Jurásico Superior se acunian contra el basamento formando Onlaps (Vail *et al.*, 1977), esto en la porción izquierda de la imagen, en este mismo lado se aprecian dos fallas normales que están cortando a los sedimentos del Jurásico Superior, la falla situada bajo el CDP 4295 afecta también parte de los sedimentos del Cretácico Inferior específicamente parte de la Fm. Taraises, la presencia de estas fallas es debido muy probablemente a esfuerzos originados por el evento compresivo de la Orogenia Laramide.

Se puede observar también una falla cortical bajo el CDP 3907, que afecta desde los sedimentos del Cretácico Inferior (Fm. Taraises), pasando por los sedimentos del Jurásico Superior hasta llegar a cortar parte del basamento.

Por lo que respecta a la parte superior de esta sección se pueden distinguir de manera muy tenue algunos reflectores los cuales se interpretaron como canales aluviales, encontrándose estos dentro de la Fm. Méndez.

Como se a mencionado anteriormente esta sección se encuentra ubicada paralela a la deformación por lo que su topografía es muy suave, de hecho el pozo ubicado sobre esta línea de nombre el Benemérito-1, tuvo como uno de sus objetivos realizar un sondeo estratigráfico y en parte buscar acunamientos.

Es importante mencionar que todas las fallas de basamento interpretadas son consideradas preexistentes al evento Laramidico y su prolongación o coincidencia con fallas en la carpeta sedimentaria se debe a posibles reactivaciones y/o a subsidencia.

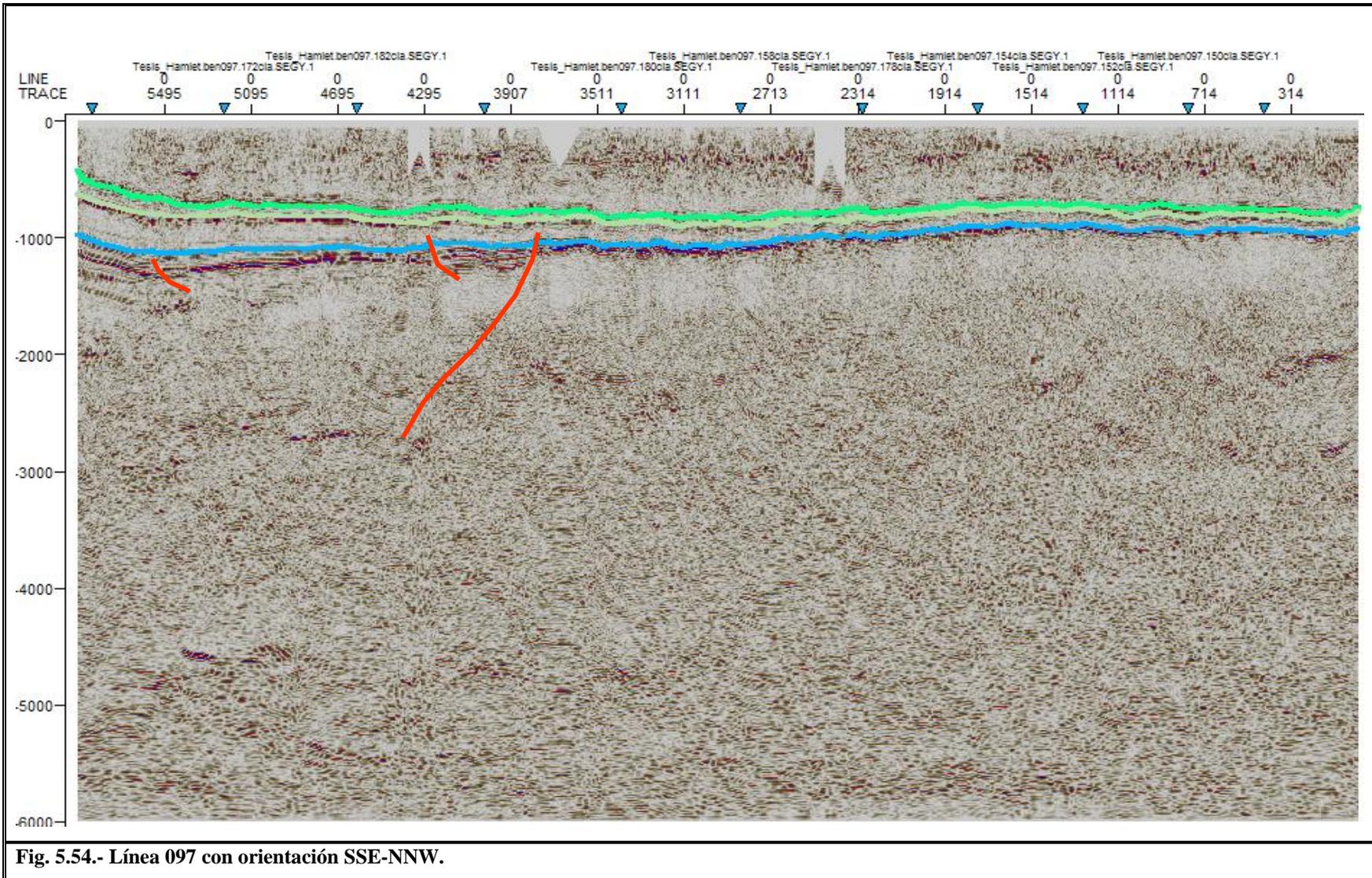


Fig. 5.54.- Línea 097 con orientación SSE-NNW.

La siguiente línea es la 158, se ubica hacia la parte media del área de estudio y tiene una orientación WSW-ENE, cuenta con una longitud de 42.475 km para esta línea no se llevo a cabo un modelo de espesores como en las líneas anteriores, ya que solo fueron seleccionadas líneas en los extremos y en las partes medias del área y si bien esta línea se encuentra en la parte media, pero esta muy cerca de la línea 178 la cual si se selecciono para elaborar dicho modelo y representa un área mas grande, ya que la línea 158 se ve interrumpida por la Sierra de Papagayos en la cual no se tomaron datos sísmicos debido al difícil acceso que presento dicha sierra para la compañía que llevo a cabo la adquisición de datos.

En la figura 5.55, se muestra la línea 158, con las fallas que se encontraron al analizarla, se observo hacia el extremo izquierdo de la sección una topografía casi plana de la carpeta sedimentaria, esto debido a la suave topografía que presenta el basamento, no se presentan pliegues ni estructuras que indiquen resistencia alguna a la deformación, los horizontes en color que se observan dentro de la sección son La Casita del Jurásico Superior, La Peña del Cretácico Inferior y Cuesta del Cura del Cretácico Superior.

Se observa debajo y a la izquierda del CDP 2682 una pequeña falla normal, la cual afecta una muy pequeña parte del basamento y a las formaciones Olvido, La Casita, Taraises y Cupido, casi llegando a la Fm. La Peña pero esta Fm. no se vio afectada por dicha falla.

Se puede observar también bajo el CDP 1123, una falla normal dentro del basamento, dicha falla afecta una muy pequeña parte de sedimentos del Jurásico Superior, esta falla parece ser el límite de un bloque que esta un poco mas abajo en relación a la parte izquierda de la sección.

Bajo los CDP'S 723 y 523 se puede observar otra falla de tipo normal la cual parece ser el límite derecho del bloque mencionado, esta falla de basamento alcanza a cortar una parte de sedimentos Jurásicos entre los que se encuentra la Fm. Olvido, de esta falla se ramifica otra falla de menor tamaño la cual solo se encuentra dentro del basamento.

De manera inmediata se comienza a ver el ascenso de los sedimentos hacia lo que es la Sierra de Papagayos, hacia esta parte de la sección, la carpeta sedimentaria se hace más gruesa, en relación al extremo izquierdo de la misma.

Se observa también bajo el CDP 523 en la parte superior una falla normal, que va desde el Cretácico Inferior a la altura de la Fm. Taraises, hasta la Fm. Agua Nueva del Cretácico Superior.

A lo largo de la sección dentro de la parte superior de la misma se pueden observar reflectores caóticos, los cuales se interpretaron como canales aluviales, estos canales están ubicados dentro de la Fm. Méndez del Cretácico Superior.

Bajo el CDP 523, se puede observar como los sedimentos en este caso Jurásicos se están acuñando contra el basamento formando un Downlap (Vail, *et al.*, 1977), en esta parte el basamento Granodiorítico (Eguiluz de Antuñano, 2001) presenta un pequeño alto. En esta sección se comienzan a observar algunos efectos de la Orogenia Laramide, este evento compresivo fue el causante del levantamiento de la Sierra de Papagayos (PEP, reporte final de pozo), dicha sierra se formo como resultado de el empuje proveniente del oeste, y al encontrarse con la resistencia que opusieron los altos de basamento los sedimentos del Jurásico Superior y del Cretácico se plegaron formando dicha Sierra.

Como ya se a mencionado en esta sección no se pudieron tomar datos a través de la sierra, ya que esta represento un impedimento para la adquisición de los datos, en la línea 178 se observa un perfil continuo pero la estructura de la sierra queda en el subsuelo y lo que podemos observar es como la deformación afecto a los sedimentos en el subsuelo.

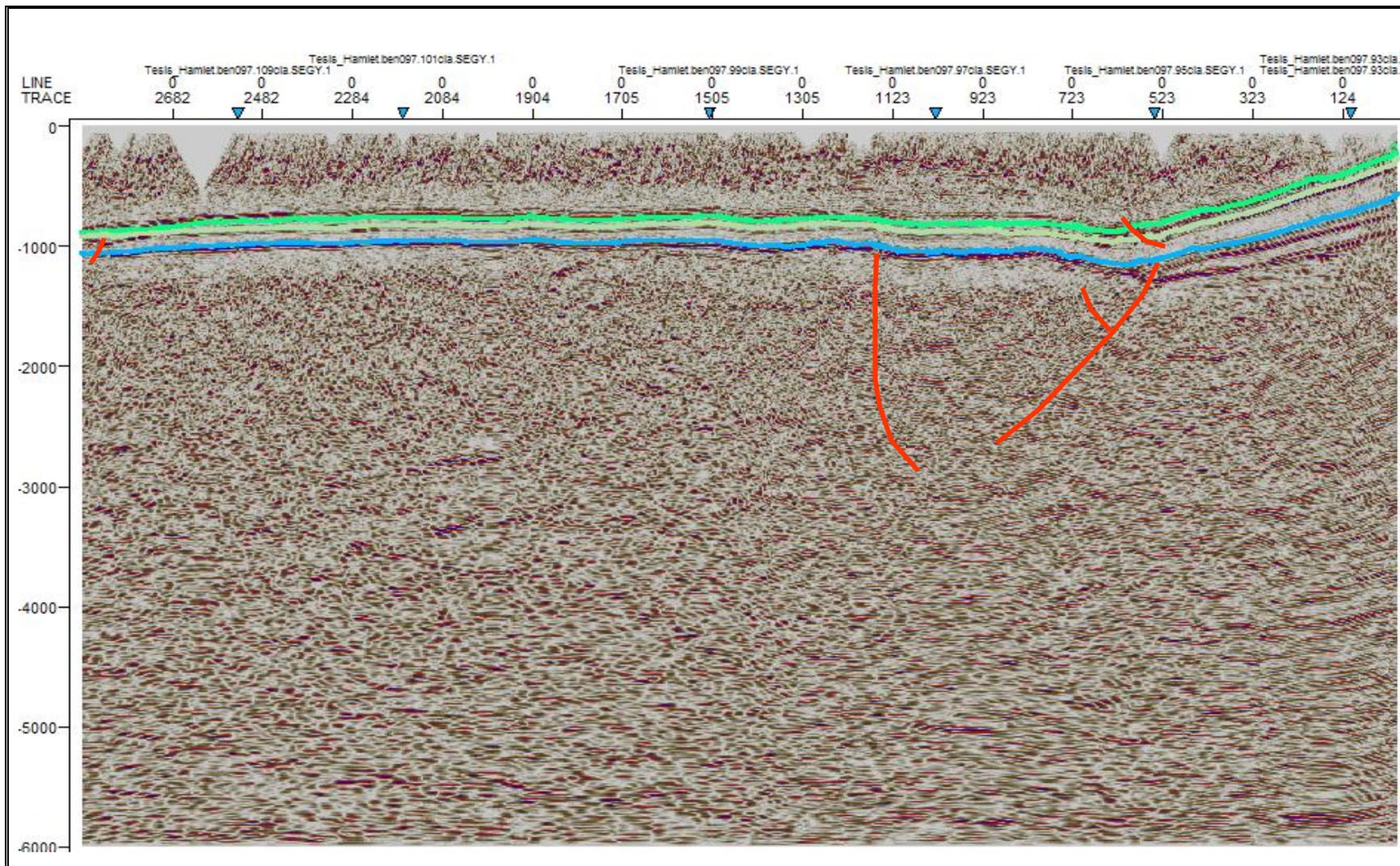
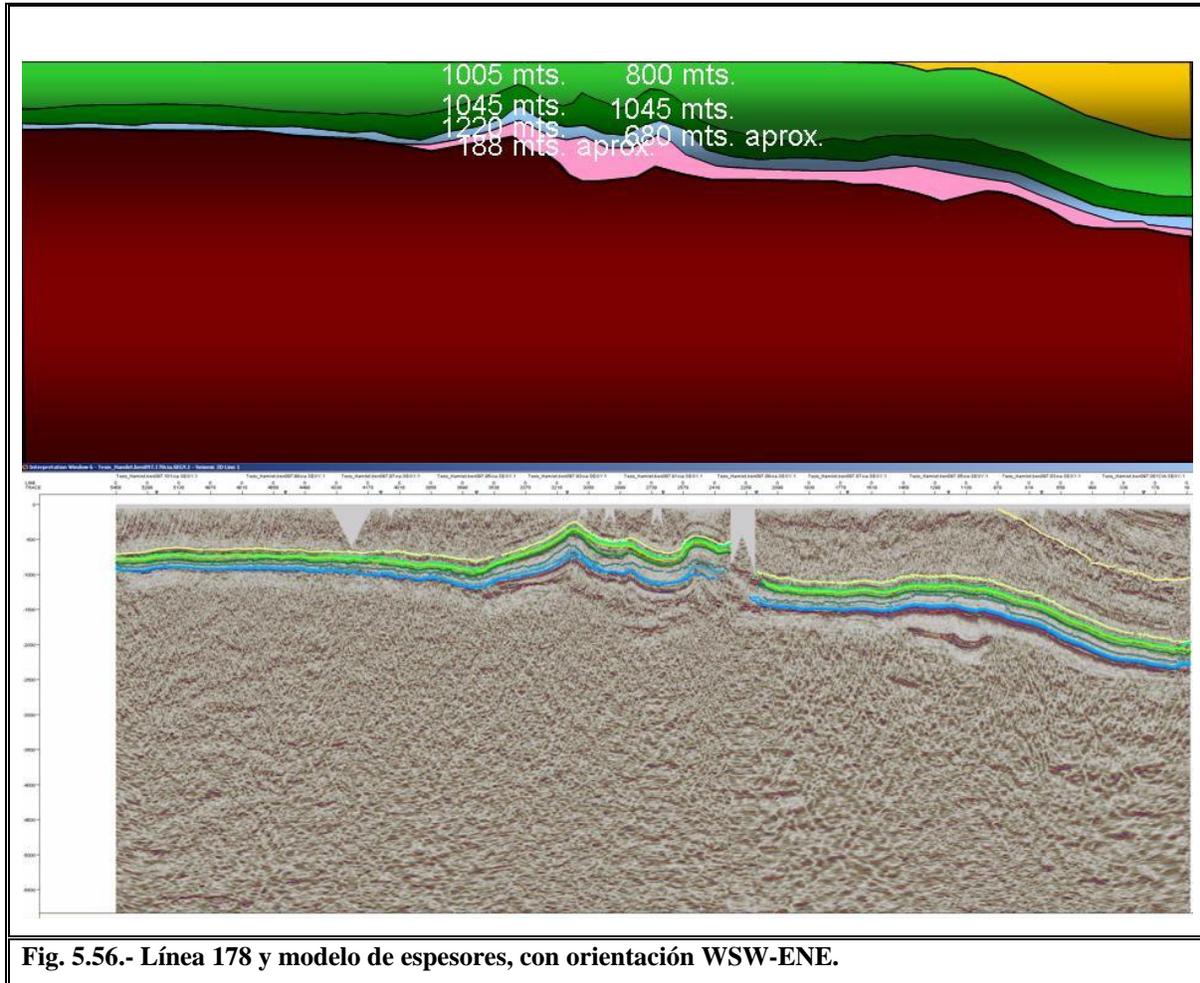


Fig. 5.55.- Línea 158 con orientación WSW-ENE.

La línea 178 que se muestra en la figura 5.56, es una de las más interesantes de este trabajo ya que cruza la mayoría del área de WSW a ENE y es atravesada por la gran mayoría de las líneas que son paralelas a la deformación. Esta línea tiene una longitud de 68.675 Km



Si se observa la sección de izquierda a derecha se puede ver primero una topografía muy suave teniendo un basamento con poca deformación y sobreyaciéndole se aprecian por paquetes Lechos Rojos del Triásico de la parte media en adelante, Jurásico Superior, Cretácico Inferior, Cretácico Superior y sedimentos Terciarios en la parte final de la sección.

Hacia la parte media de la sección se observa el acenso de los sedimentos hacia lo que es la Sierra de Papagayos, se observan altos de basamento y se comienzan a observar lechos

rojos los cuales rellenaron las fosas que se formaron al darse la apertura del Golfo de México en el Triásico (Goldhammer, 1999), los altos de basamento antes mencionados opusieron resistencia al empuje Laramídico y los sedimentos depositados se plegaron dando como resultado estructuras Anticlinales y Sinclinales, estas estructuras son de gran importancia en el ámbito petrolero. La deformación de estos sedimentos es atribuida a la Orogenia Laramíde y a la morfología del basamento resultante de la apertura del Golfo de México.

Se observan en la sección tres pliegues los cuales fueron clasificados como pliegues por despegue estos con una base o rampa de despegue evaporítico (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000), se aprecia de izquierda a derecha un pliegue con vergencia casi nula y los siguientes con vergencia opuesta al sentido de la deformación esto es debido a la resistencia con la que se topo la deformación, la vergencia opuesta se presenta en el momento en que la resistencia fue mayor al empuje en el que venia el sentido de la deformación.

En la parte media de esta sección se tienen dos medidas de espesores, iniciando con el lado izquierdo en donde se reportaron espesores de 1005 m para el Cretácico Superior, 1045 m para el Cretácico Inferior, 1220 m para el Jurásico Superior y un espesor estimado de 188 m aproximadamente para los Lechos Rojos del Triásico. Los espesores que se presentan a la derecha sobre la sección son de 800 m para el Cretácico Superior, 1045 m para el Cretácico Inferior y 680 m aproximadamente para el Jurásico Superior. Las medidas que son aproximadas se registraron de esa manera debido a que los pozos llegaron a cierta profundidad y en la sísmica se puede apreciar un espesor mayor en relación a la profundidad final de los pozos.

En la figura 5.57, se observa la sección 178 con sus respectivas fallas, se puede observar que a diferencia de las líneas anteriores en esta hay mas deformación y fallas, en esta sección se ve claramente la influencia del evento Laramídico dentro del área de estudio, ya que todas las estructuras plegadas que se observan son resultado directo de este evento compresivo (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

Es importante destacar que en esta línea aparecen los sedimentos Terciarios los cuales no se habían observado en ninguna de las líneas anteriores, se observan entre los CDP'S 1460 y 1060 hacia el CDP 260. Al mismo tiempo que se observa la aparición de dichos sedimentos, también se puede observar como el basamento se hace mas profundo mientras que la carpeta sedimentaria se engrosa, esto se interpreto como el inicio de la Cuenca de Burgos.

En la parte superior de la sección entre los CDP'S 5058 y 1460 se alcanzan a observar algunos reflectores caóticos (Vail *et al.*, 1977) y su morfología es correspondiente a estructuras de canales aluviales, dichos canales estarían situados dentro de la Fm. Méndez del Cretácico Superior.

Dentro de la sección de izquierda a derecha entre los CDP'S 4258 y 3458 se pueden observar dos pequeñas fallas normales, bajo el CDP 4258 se observa una falla que va desde una porción del basamento, extendiéndose hasta las Fm. La Casita y Olvido del Jurásico Superior. La falla bajo el CDP 3458 afecta una pequeña parte del basamento extendiéndose en lo que se interpreto como Lechos Rojos.

Al centro de la sección bajo el CDP 3058 se observa una falla de estructura en flor negativa que se extiende desde el basamento hasta las formaciones del Cretácico Superior, la falla base atraviesa los sedimentos del Triásico, Jurásico Superior, Cretácico Inferior teniendo su fin en la Fm. Cuesta del Cura del Cretácico Superior. Las fallas que se ramifican de la falla más grande atraviesan sedimentos del Triásico y del Jurásico Superior, así como sedimentos del Cretácico Superior hasta la Fm. Cuesta del Cura respectivamente.

Entre los CDP'S 3058 y 2660 de izquierda a derecha se observa una falla normal que afecta a los horizontes correspondientes a las formaciones La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva. En seguida se aprecia otra falla normal la cual va desde el basamento pasando por los Lechos Rojos hasta llegar a la Fm. Olvido del Jurásico Superior. Casi de forma inmediata se observa una falla normal la cual atraviesa desde una parte del basamento

pasando por los Lechos Rojos del Triásico, Jurásico Superior, Cretácico Inferior culminando en la formación Cuesta del Cura del Cretácico Superior.

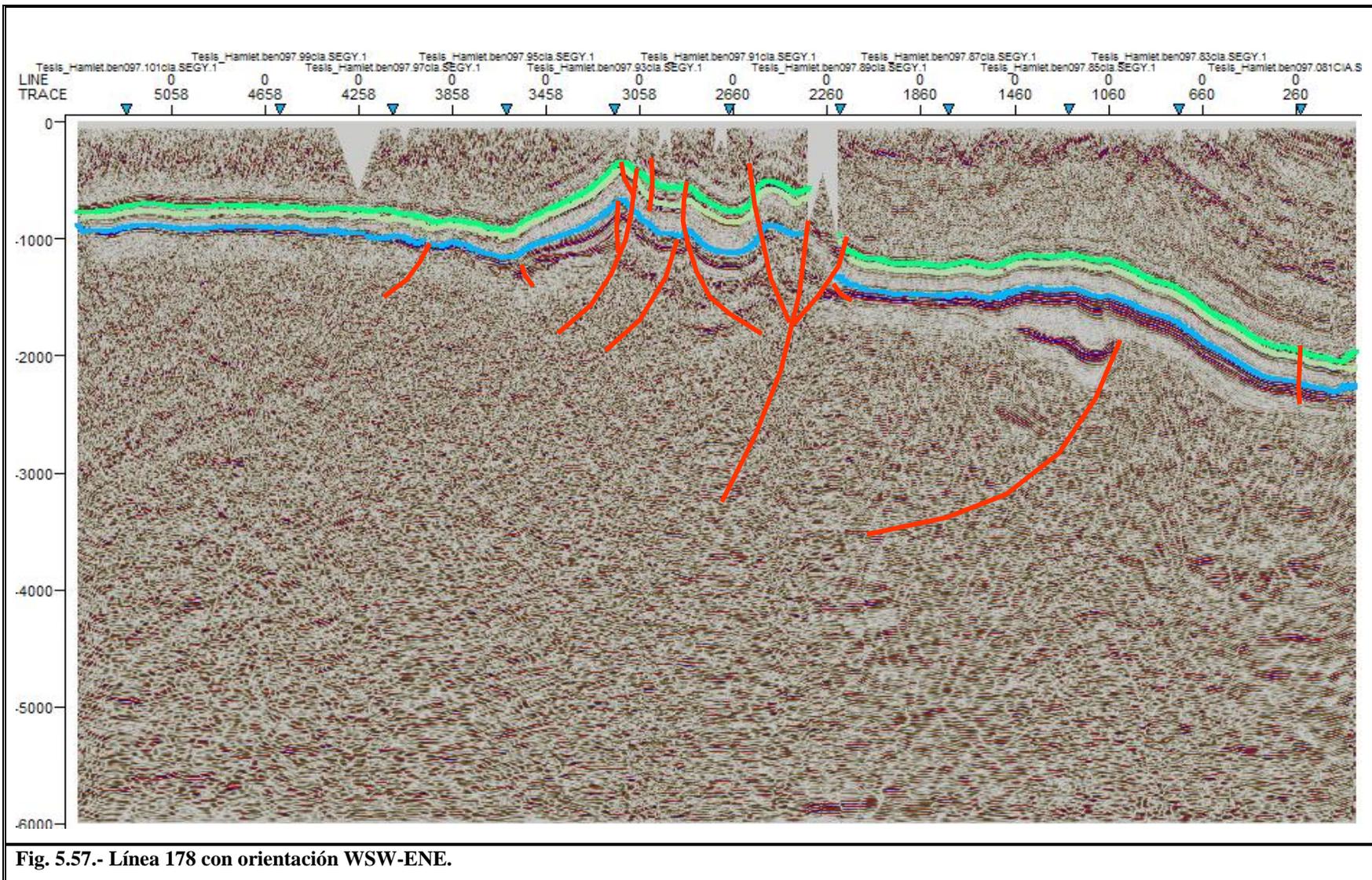
Entre los CDP'S 2660 y 2260 se observa una falla de estructura en flor, la falla base de la cual se ramifican las demás forma una falla inversa cortando desde el basamento hasta los sedimentos del Cretácico Inferior, es probable que esta falla se extienda hasta el Cretácico Superior pero en este caso la sísmica no permite definir bien el limite de ella. Las fallas que se ramifican cortan desde el basamento hasta los sedimentos del Cretácico Superior llegando a la Fm. Méndez esto en cuanto a la ubicada bajo el CDP 2660 y la ubicada bajo el CDP 2260 corta desde basamento hasta el Cretácico Superior culminando en la Fm. Cuesta del Cura. De manera inmediata a la derecha de esta falla se observa una pequeña falla normal que solo afecta a sedimentos del Jurásico Superior sin llegar a la Fm. La Casita.

Bajo los CDP'S 1860 a 1060 se puede observar una gran falla lítrica la cual parece estar indicando el limite de un bloque de basamento, como ya se menciono anteriormente estos bloques fueron resultado del evento distentivo del Triásico de la apertura del Golfo de México (Goldhammer, 1999), y en gran parte los altos de basamento que quedaron como resultado controlan las estructuras plegadas en esta sección y dentro del área de este estudio ya que los sedimentos se plegaron contra estos altos básales.

Bajo el CDP 260 se puede observar una falla con desplazamiento vertical cortando desde sedimentos del Jurásico Superior hasta sedimentos de la Fm. Cuesta del Cura del Cretácico Superior, quedando situada esta falla dentro del inicio de la denominada Cuenca de Burgos.

Los horizontes que se pueden observar en color dentro de la línea son La Casita del Jurásico Superior, La Peña del Cretácico Inferior y Cuesta del Cura del Cretácico Superior, se utilizan los mismos horizontes en todas las imágenes que se muestran con fallas en esta parte del trabajo.

El trazo de fallas en la parte correspondiente a basamento se realizo con un zoom muy potente del software Petrel el cual permite ver a detalle los reflectores.

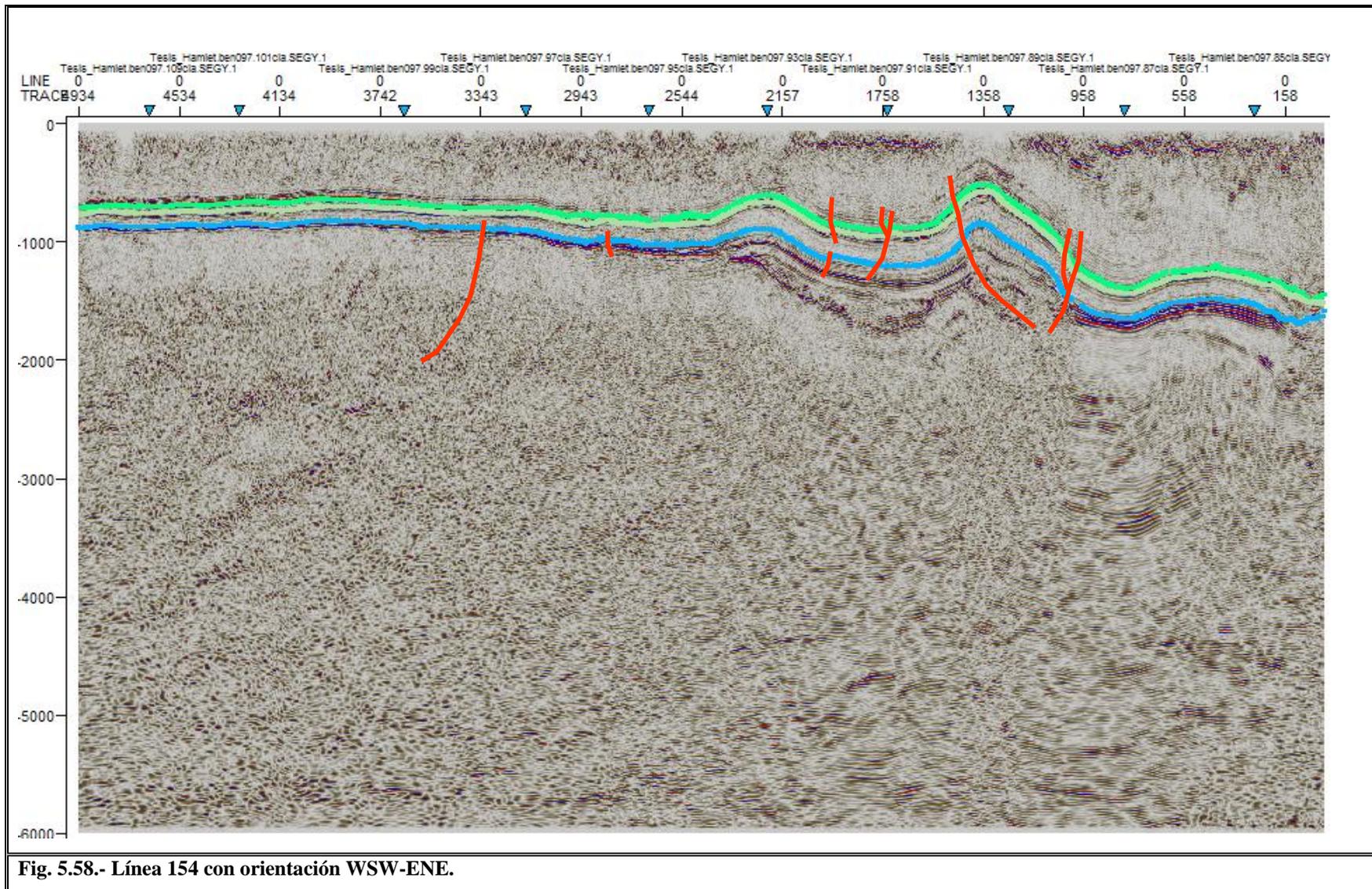


La línea que se muestra a continuación en la figura 5.58, es la 154, esta línea es cercana a la anterior y son paralelas su orientación es WSW-ENE y tiene una longitud de 80.725 km, esta línea fue seleccionada debido al plegamiento que presenta así como por un pozo perforado en las cercanías a esta.

Se puede observar de izquierda a derecha en principio una topografía muy suave, como hemos mencionado anteriormente el basamento y sedimentos presentan básicamente la misma morfología, un poco antes del CDP 2157 se observa la primer estructura plegada como ya se ha mencionado esto se debe a la presencia de altos de basamento contra los cuales se plegaron estos sedimentos, el anticlinal que se observa tiene a simple vista vergencia nula, en seguida se tiene un sinclinal y otra estructura plegada, esta con vergencia muy leve hacia el oeste, posteriormente se aprecia como se profundizan, suben y vuelven a bajar los sedimentos, en esta ultima parte ya hacia la Cuenca de Burgos.

Se puede observar bajo el CDP 3343 una falla normal la cual se interpreta desde el basamento hasta la Fm. Taraises del Cretácico Inferior. Más al centro, entre los CDP'S 2943 y 2544 se observa una pequeña falla normal afectando la secuencia del Jurásico Superior hasta parte de la Formación Taraises del Cretácico Inferior.

Se pueden observar también entre los CDP'S 2157 y 1758 dos fallas normales, una de ellas afectando solamente a sedimentos del Jurásico Superior, otra de ellas va desde el Cretácico Inferior Fm. Taraises, hasta la Fm. San Felipe del Cretácico Superior. Bajo el CDP 1758 se observan dos fallas normales, se presentan desde los sedimentos del Jurásico Superior hasta la Fm. San Felipe del Cretácico Superior. Bajo el CDP 1358 se puede observar una falla normal que va de sedimentos del Triásico (Lechos Rojos) a la Fm. San Felipe del Cretácico Superior. Casi en la parte final de esta sección bajo el CDP 958 se observan dos fallas en conjunto de tipo normal, la falla mas grande corta desde Lechos Rojos del Triásico a la Fm. San Felipe del Cretácico Superior y la más pequeña va de la Fm. La Casita del Jurásico Superior a la Fm. San Felipe del Cretácico Superior.



A continuación se describe la línea 152, esta línea tiene una orientación WSW-ENE y cuenta con una longitud de 72.975 Km La línea se ubica al sur del área de estudio y se aprecia en la figura 5.59.

Se puede apreciar dentro de la línea de izquierda a derecha como la topografía de los sedimentos es muy suave, al mismo tiempo se denota la suave morfología del basamento. Al centro de la sección son muy evidentes las estructuras plegadas, dando mas evidencias del empuje Laramidico.

Se tiene bajo el CDP 2334 una estructura anticlinal, dicha estructura presenta una pequeña vergencia hacia el Este, esto es en sentido del empuje Laramidico, en esta parte se presenta un alto de basamento que fue el causante de que los sedimentos se plegaran y formaran esta estructura, que es seguida de un sinclinal.

En seguida bajo el CDP 1534 se observa como se formo otro pequeño anticlinal el cual se sitúa en medio de dos anticlinales de mayor tamaño, esta estructura muestra una vergencia hacia el Este al igual que la estructura descrita anteriormente, en esta parte el basamento presenta un bajo o bloque caído, causado por fallamiento normal.

Se tiene también, bajo el CDP 1142 otra estructura de tipo anticlinal, la cual presenta una vergencia opuesta en relación a las estructuras descritas con anterioridad, lo cual indica que en este punto la resistencia que opusieron tanto el alto de basamento como los sedimentos fue mayor al empuje proveniente del Oeste, teniendo así una mayor fuerza en sentido contrario de la deformación lo cual provoco que estos sedimentos se plegaran en sentido contrario a la deformación Laramidica. En este punto el basamento registra nuevamente un alto, siendo este el que ejerció la contrafuerza al sentido de la deformación.

Hacia la parte final de la sección, en su extremo derecho se observa una tendencia del basamento a profundizarse, por lo tanto los sedimentos tenderán a engrosarse hacia este punto.

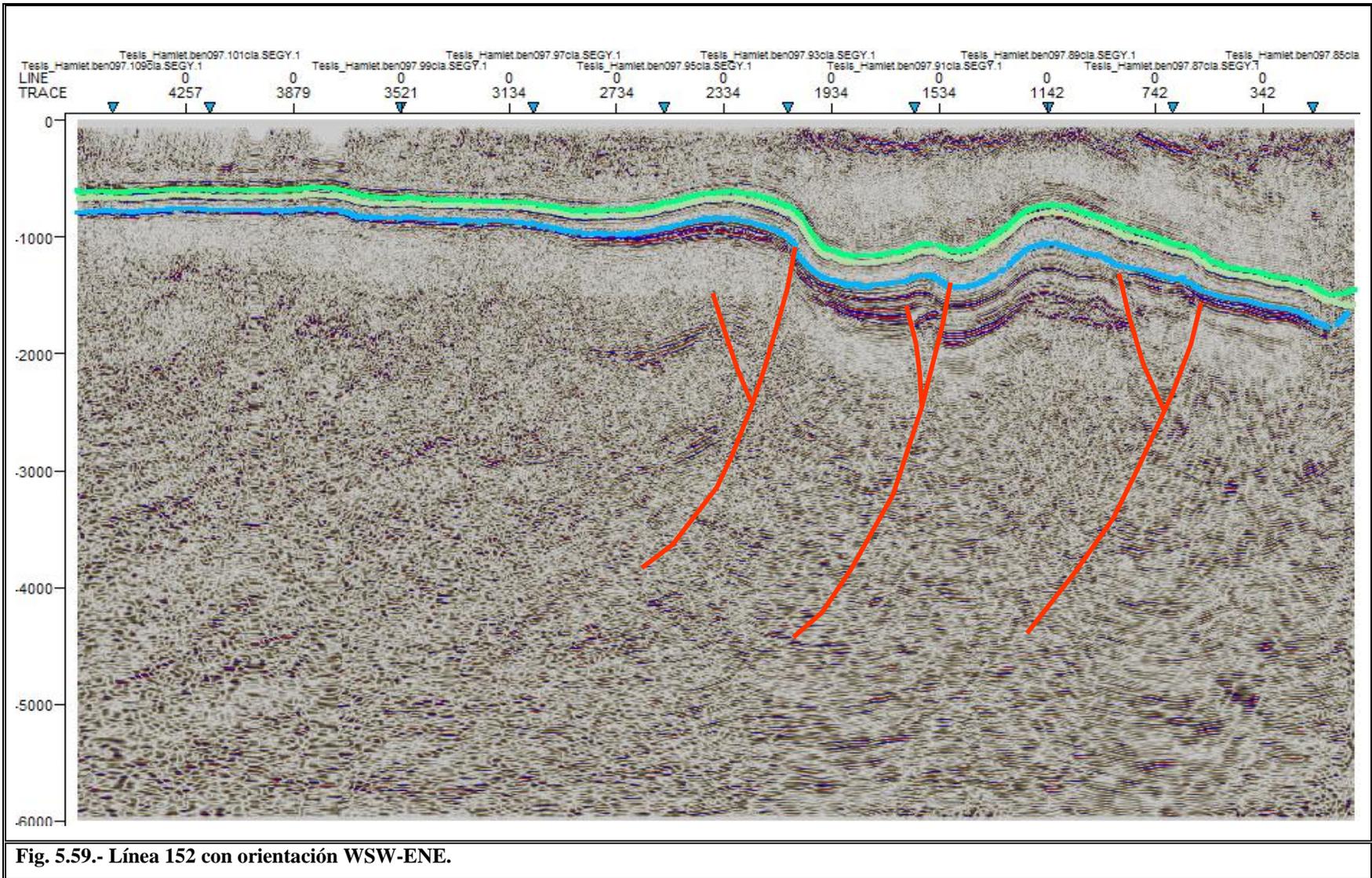
Entre los CDP'S 2334 y 1934 se observa una falla normal, dicha falla se encuentra afectando una parte considerable del basamento, hasta llegar a la Fm. La Casita del Jurásico Superior, esta falla funciona como uno de los límites del bloque de basamento caído que se menciona con anterioridad.

Debajo y entre los CDP'S 1934 y 1534 se observa otra falla normal, dicha falla sería el límite derecho del bloque del cual se ha hablado. Esta falla afecta parte del basamento, pasando por lo que se interpreto como Lechos Rojos hasta llegar a los sedimentos del Jurásico Superior culminando en la Fm. La Casita. Esta parte de la sección es en la cual el basamento presenta un bajo en relación a los bloques ubicados a sus extremos izquierdo y derecho respectivamente.

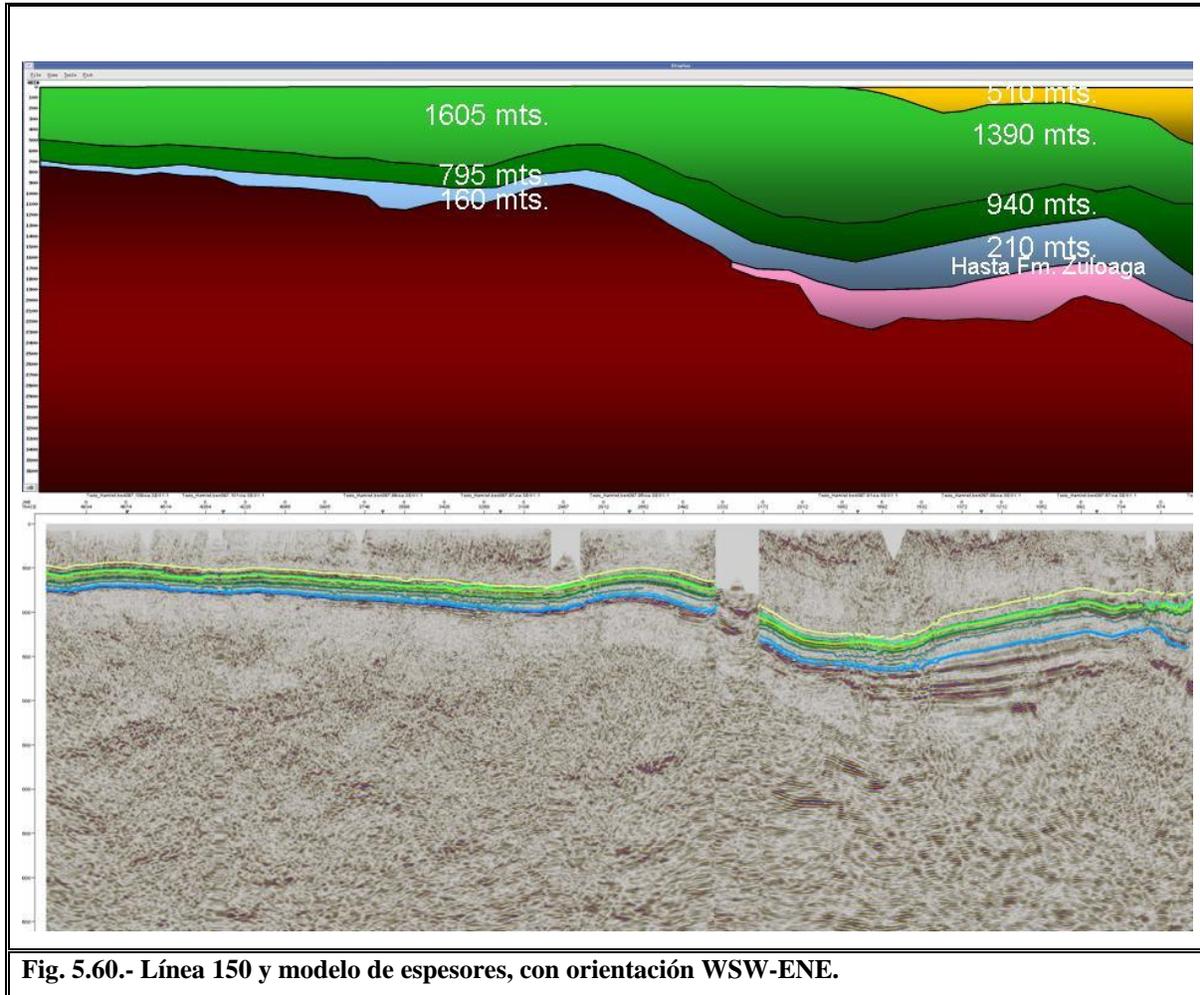
Se aprecia también en la sección bajo el CDP 742 una falla mas de tipo normal, la cual delimita otro bloque de basamento que es estructuralmente mas alto que el bloque que le antecede y que se menciona anteriormente. Esta falla se encuentra cortando parte del basamento afectando también a los Lechos Rojos del Triásico, así como una parte de sedimentos del Jurásico Superior, sin llegar a afectar a la Fm. La Casita.

Es muy importante observar como en la sección anterior (154), se aprecia un comportamiento diferente de las estructuras en cuanto a las vergencias de los anticlinales presentes tanto en la sección 154 y 152, se puede observar como también el sistema de fallas que se desarrolla en cada sección es diferente y por la cercanía que hay entre estas dos secciones se podría pensar que el sistema de fallas y la deformación que se observa en ellas podría ser similar. Sin embargo la sección 178 que es más lejana a la 152 si presenta vergencias opuestas en las estructuras que se aprecian dentro de la misma, algo similar a lo que se observa dentro de la sección 152.

De igual manera en la sección 154 no se forma ningún pliegue entre los dos anticlinales de mayor tamaño, cosa que si ocurre en las secciones 178 y 152 que son más distantes y se esperaría que en la sección que se encuentra en medio de las mismas el comportamiento fuera similar, sin embargo no es así.



La línea que se muestra a continuación es la 150 la cual también se utilizó para elaborar un modelo de espesores en este trabajo. En la figura 5.60, se observa el modelo elaborado con la línea sísmica correspondiente.



**Fig. 5.60.- Línea 150 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.**

Esta línea está orientada WSW-ENE, tiene una longitud de 62.525 km es paralela a la línea anterior, se encuentra hacia la parte Sur del área de estudio, en esta línea al igual que en las pasadas se observan dos estructuras plegadas y se puede identificar como el basamento tiende a profundizarse hacia el NE, su morfología muestra algunos altos y bajos, algunos de los cuales están rellenos de Lechos Rojos, esto de la parte media de la sección hacia el extremo derecho de la misma, también se puede observar que al inicio de la misma la topografía del basamento es muy suave y por lo tanto los sedimentos que están depositados encima tienen una topografía suave, se pueden observar por paquetes sedimentos del

Jurásico Superior, Cretácico Inferior y Cretácico Superior, hacia el centro de la sección aparece la presencia de los Lechos Rojos rellenando las fosas o bajos que se formaron en el basamento, en la parte final de la sección en su extremo derecho se aprecia de nueva cuenta la presencia de sedimentos Terciarios y se puede observar como toda la carpeta sedimentaria es mas amplia que en la parte izquierda de la sección, de la misma forma se observa como se profundiza el basamento hacia la ya antes mencionada Cuenca de Burgos.

Dentro de la sección se observan dos medidas de espesores, ubicadas sobre las estructuras anticlinales que se aprecian en la misma. Las medidas obtenidas por paquetes sobre la primer estructura hacia la parte izquierda de la línea son 1605 m para Cretácico Superior, 795 m para Cretácico Inferior y 160 m para Jurásico Superior lo que da un espesor neto de sedimentos de 2560 m.

Para la segunda estructura hacia la parte derecha de la línea se observan espesores de 510 m para los sedimentos Terciarios que aparecen en esta parte de la línea, 1390 m para Cretácico Superior, 940 m para Cretácico Inferior y 210 m para Jurásico Superior hasta la Formación Zuloaga, se puede observar también un espesor considerable de Lechos Rojos dentro del modelo elaborado este espesor no fue estimado ya que no se contó con datos concretos para realizar este calculo, se tiene entonces para la columna estimada de sedimentos un espesor total de 3050 m sin contar todo el espesor del Jurásico ni los Lechos Rojos, casi 500 m mas que en el extremo izquierdo de esta misma sección.

En la figura 5.61, se aprecia la línea 150 ya con sus fallas correspondientes, se observan entre los CDP'S 3030 y 2654 dos pequeñas fallas normales una de ellas afectando parte del basamento hasta parte de la Formación Taraises del Cretácico Inferior, la siguiente afectando desde la Fm. La Peña hasta la Fm. Agua Nueva del Cretácico Superior.

Bajo el CDP 2254 se observa una falla normal cortando desde el basamento hasta los sedimentos del Cretácico Superior culminando en la Fm. Agua Nueva. Entre los CDP'S 1854 y 1455 se puede observar otra falla de tipo normal que afecta gran parte del basamento cortando también parte de los Lechos Rojos del Triásico.

Bajo el CDP 657 se observa un gran salto en la secuencia estratigráfica, esto debido a una falla inversa la cual afecta desde el basamento hasta la Fm. Agua Nueva del Cretácico Superior, es posible que la falla se extienda hasta las formaciones sobreyacentes pero por falta de visibilidad en la sísmica no se puede determinar esto con exactitud.

Ya en la parte final de la sección se observa bajo el CDP 257 una pequeña falla de tipo normal afectando sedimentos del Cretácico Superior y al parecer una pequeña parte de sedimentos del Terciario.

En esta línea se observan también evidencias claras del evento Laramidico, teniendo como resultado estas estructuras anticlinales y sinclinales que como ya se ha mencionado se plegaron contra los bloques altos de basamento.

La línea 150 presenta un pequeño problema de procesado hacia la izquierda y casi bajo el CDP 257, la línea pierde algo de calidad en este intervalo se ve con menos resolución en relación a otras partes de la sección, estos problemas son comunes y se presentan en varias de las líneas, esto es debido a problemas con los permisos para adquirir datos sísmicos dentro de esta parte del área, se le da el nombre de zona de tiros recuperados y lo que se hace en estos casos para darle continuidad a la línea es tomar los datos un poco desfasados del perfil en el que vienen tomándose los demás datos, esto afecta un poco pero lo importante de esto es que como quiera se observan datos y no se tiene un espacio en blanco dentro de la sección.

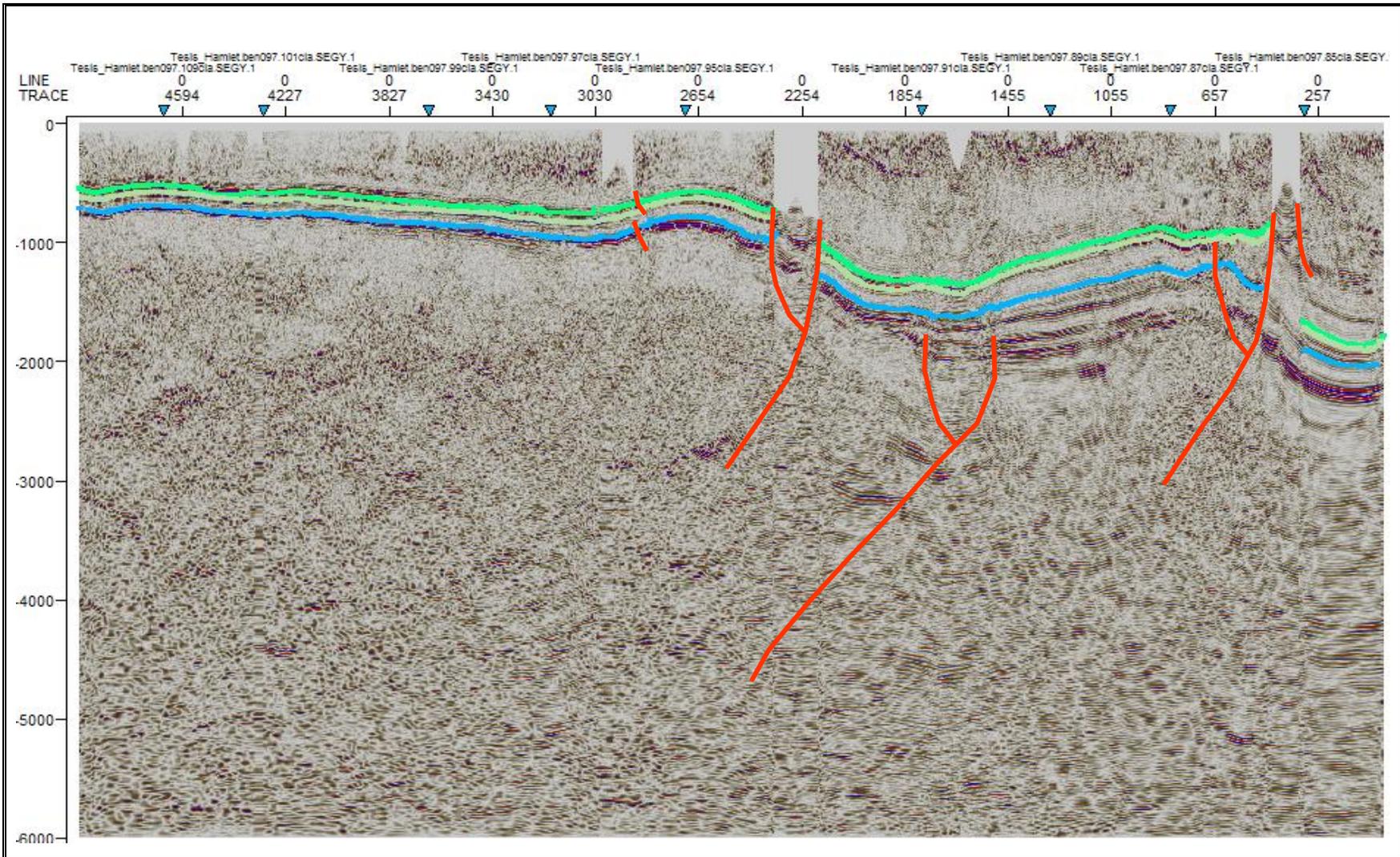


Fig. 5.61.- Línea 150 con orientación WSW-ENE.

La línea que se muestra a continuación es la 148, tiene una orientación WSW-ENE y cuenta con una longitud de 43.725 km Esta línea es la primera en la parte sur del área, por la longitud de la misma no se observan el mismo número de estructuras plegadas que en las secciones anteriores y se puede apreciar en la figura 5.62.

Se observa al igual que en las secciones anteriores una topografía muy suave en el extremo izquierdo de la sección, como ya se ha mencionado los sedimentos no presentan deformación alguna, están simplemente depositados sobre el basamento el cual también tiene una morfología suave en esta parte de la línea.

Hacia el centro de la sección y ya bajo el CDP 1099 se aprecia un anticlinal, el único que se puede observar dentro de esta línea, esta estructura tiene un comportamiento mas suave en relación a las estructuras presentadas con anterioridad.

Se aprecia también de izquierda a derecha como el basamento inicia con una morfología suave y al llegar a la parte plegada, este presenta un alto, posteriormente se hace mas profundo hacia el extremo derecho de la línea sísmica. Se observa de igual manera que la carpeta sedimentaria se engrosa hacia el extremo derecho de la sección.

Como ya se ha mencionado los horizontes que se aprecian en color dentro de la sección son La Casita, La Peña y Cuesta del Cura.

Se puede observar bajo los CDP'S 1699 y 1499 una pequeña falla normal que va desde la parte superior del basamento, pasando por los sedimentos del Jurásico Superior hasta llegar a la Fm. Taraises del Cretácico Inferior. Dentro de esta sección no se observan más fallas, se concluye que esto es debido a que en el centro del área de estudio los altos básales son de mayor tamaño y hacia esta parte el basamento comienza a suavizarse por lo que la deformación y la resistencia al empuje fue menor. Se puede observar también entre los CDP'S 899 y 699 una discordancia de los sedimentos del Jurásico Superior contra el basamento.

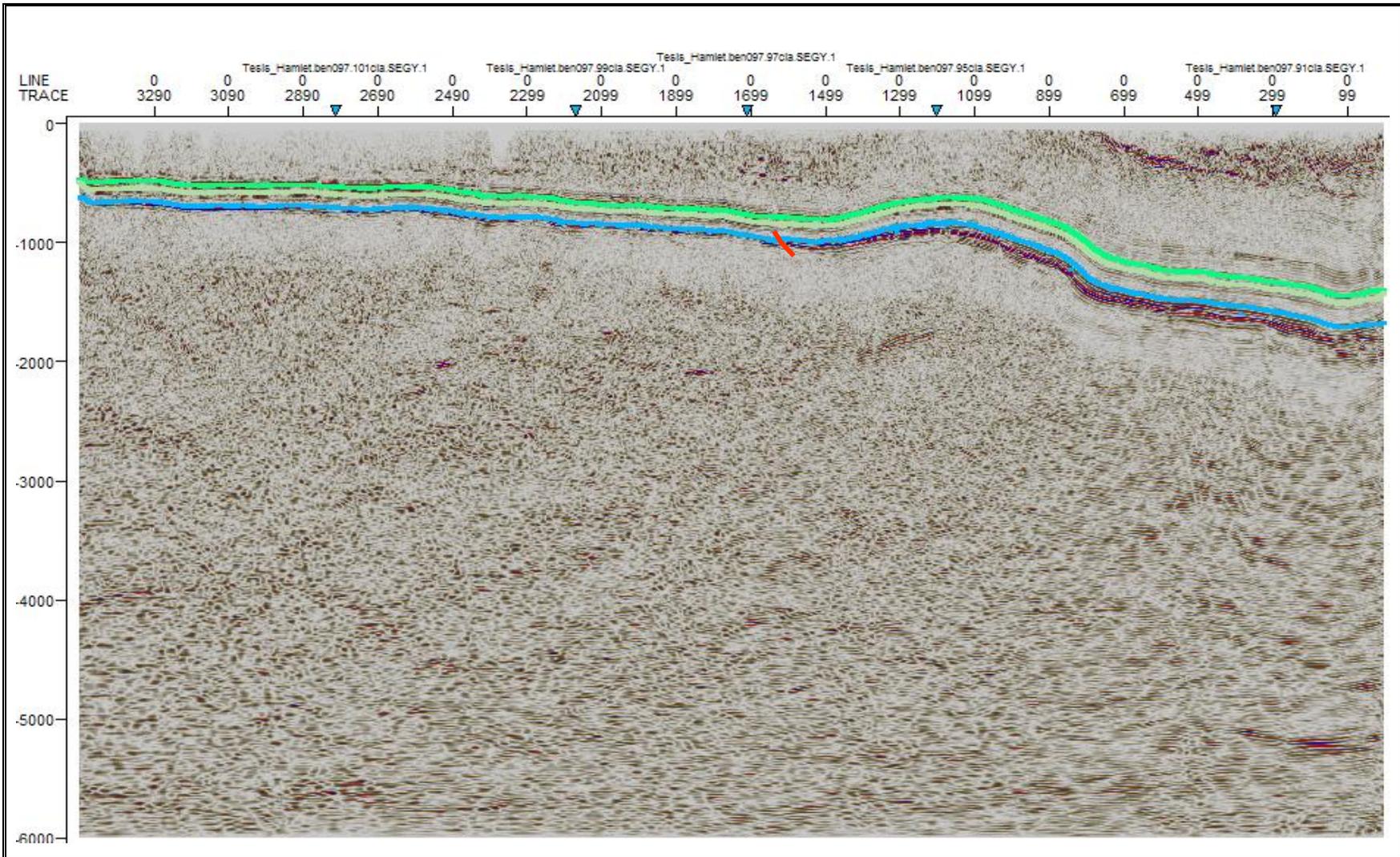
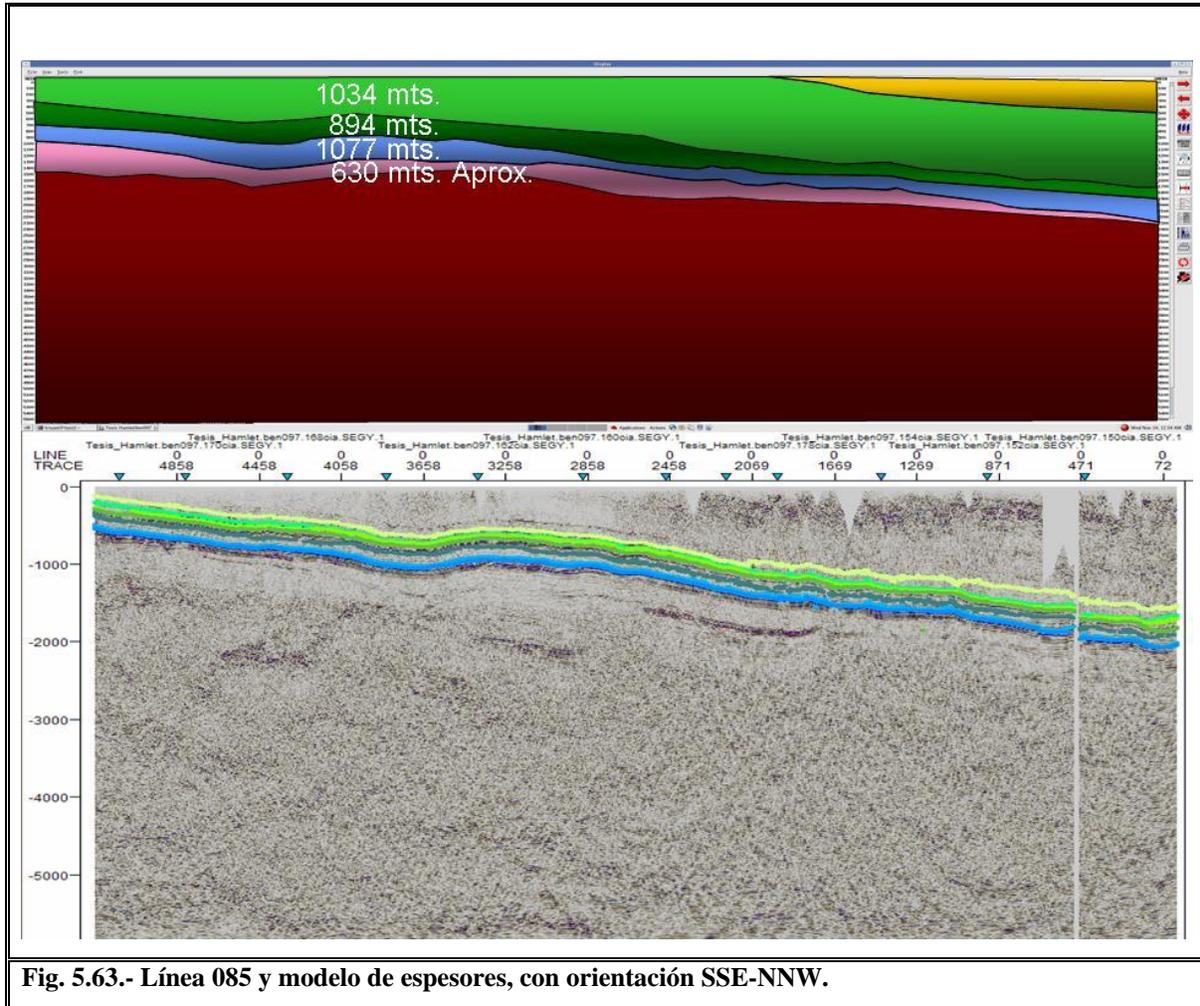


Fig. 5.62.- Línea 148 con orientación WSW-ENE.

En la figura 5.63, se aprecia la línea 085, con su respectivo modelo de espesores, en esta línea se obtuvieron dos modelos de espesores ya que lo que se observa en la sísmica indica dos posibles opciones para esta parte del área.



Esta línea se encuentra en la parte Este del área de estudio, tiene una orientación SSE-NNW y cuenta con una longitud de 70.275 Km Dentro de la imagen se observa el modelo de espesores en la parte superior y en la parte inferior la línea sísmica correspondiente, dentro de esta línea se aprecian en color los horizontes de las formaciones Olvido, La Casita, Taraises, Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva.

Dentro del modelo elaborado se puede observar de izquierda a derecha una topografía suave del basamento, mostrando un pequeño ascenso hacia la parte media de la sección, en

seguida de este alto la topografía del basamento comienza a suavizarse nuevamente, la sección muestra un ascenso general de SE a NW sin embargo al NW de la línea y para este primer modelo el basamento queda estructuralmente mas abajo que en la parte SE de la misma.

Se pueden observar por paquetes depositados sobre el basamento primero Lechos Rojos del Triásico con 630 m de espesor aproximadamente, posteriormente se tienen al Jurásico Superior con 1077 m, Cretácico Inferior con 894 m y por ultimo al Cretácico Superior con 1034 m, teniendo así un espesor total de sedimentos de 3635 m en esta parte de la sección y para este primer modelo.

Hacia el extremo derecho de la sección se observa la presencia de sedimentos del Terciario, en esta parte del área de estudio son más comunes este tipo de sedimentos ya que es situada en el margen NW de la Cuenca de Burgos, sin embargo esta parte del área no es considerada como parte de la Cuenca de Burgos.

De manera general se observa dentro del modelo y la sección, un incremento de la carpeta sedimentaria hacia la parte NW de la línea.

Es importante mencionar que para la elaboración de todos los modelos se tomaron en cuenta las líneas sísmicas correspondientes así como los pozos cercanos a la sección a describir. En algunos modelos se infieren espesores, esto es debido a que los pozos cercanos en el área no cortaron dichos sedimentos en su totalidad o no llegaron ni siquiera a ellos, en este caso se deducen solo con lo observado dentro de la sísmica.

Dentro de la línea 085 también se puede observar una porción sin datos (en blanco) esto es debido a que en esa parte del área se negaron permisos a la compañía que realizo el trabajo de adquisición para llevar a cabo dicha actividad.

En la figura 5.64, se aprecia el segundo modelo para la línea 085, la parte que cambia en el modelo actual radica en el espesor y morfología de los Lechos Rojos y del Basamento sobre todo al extremo izquierdo de la sección NNW de la misma.

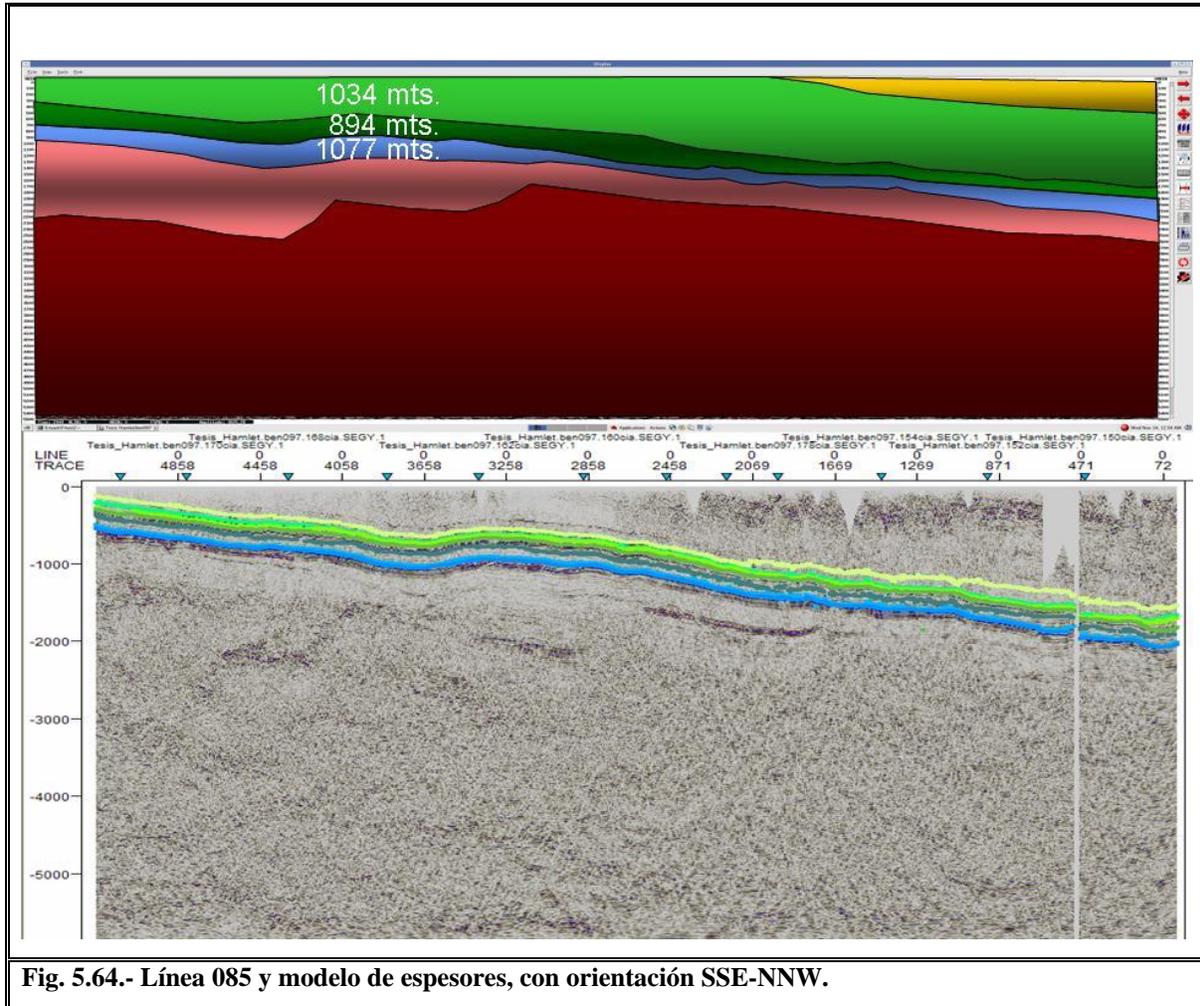


Fig. 5.64.- Línea 085 y modelo de espesores, con orientación SSE-NNW.

En cuanto a los espesores de los sedimentos del Jurásico Superior y Cretácico no tienen variación alguna se conservan igual que en el primer modelo. Se observa como en este modelo el basamento en el extremo izquierdo de la sección NNW de la misma, presenta dos bloques caídos o bajos, lo cual incrementa de manera considerable el espesor de sedimentos del Triásico y a su vez de toda la carpeta sedimentaria en esta parte de la sección, a su vez se observa que a lo largo de la sección para este modelo el basamento se interpreta un poco más profundo, lo cual aumenta el espesor de Lechos Rojos a lo largo de toda la sección y de manera general de la carpeta sedimentaria a lo largo de la misma.

La siguiente línea que se observa en la figura 5.65, es la 156, esta línea tampoco se selecciono para elaborar modelo de espesores ya que es muy cercana a la línea 178, la cual presenta un perfil completo y no se ve interrumpida por la Sierra de Papagayos como en este caso. Esta línea se encuentra hacia el Este del área de estudio, tiene una orientación WSW-ENE y cuenta con una longitud de 35.575 Km

Dentro de la sección de izquierda a derecha se puede observar el ascenso a la Sierra de Papagayos, ahora apreciándolo de ENE a WSW ya que como se aprecio con anterioridad en la línea 158 el ascenso se observaba hacia el ENE, la línea 156 es la continuación de la 158 hacia el Este del área de estudio.

Bajo el CDP 2243 se aprecia un sinclinal al mismo tiempo que se aprecia un bajo en el basamento, al centro de la sección entre los CDP'S 1643 y 852 se observa una estructura anticlinal al mismo tiempo que el basamento presenta un ascenso o bloque levantado.

Casi para finalizar la sección de los CDP'S 852 al 52 se aprecia como el basamento y los sedimentos empiezan a profundizarse, esto se interpreto como el inicio de la Cuenca de Burgos.

Entre estos mismos CDP'S y en la parte superior de la sección se puede observar como los sedimentos del Terciario empiezan a tener presencia dentro de esta línea, al mismo tiempo que la carpeta de sedimentos se engrosa hacia este extremo de la sección.

Entre los CDP'S 2838 y 2638 a la altura de 0.5 seg. (500 ms) se observan dos pequeñas fallas normales y una falla en flor de tipo normal, las fallas mas pequeñas se encuentran afectando una a los sedimentos del Cretácico Inferior culminando en la Fm. La Peña, y encima de esta se observa otra falla de menor tamaño afectando sedimentos del Cretácico Superior, en especifico una pequeña parte de la Fm. Cuesta del Cura culminando dentro de la Fm. Agua Nueva.

A su vez la falla de estructura en flor afecta a sedimentos que van desde la Fm. Taraises del Cretácico Inferior hasta la Fm. Méndez del Cretácico Superior.

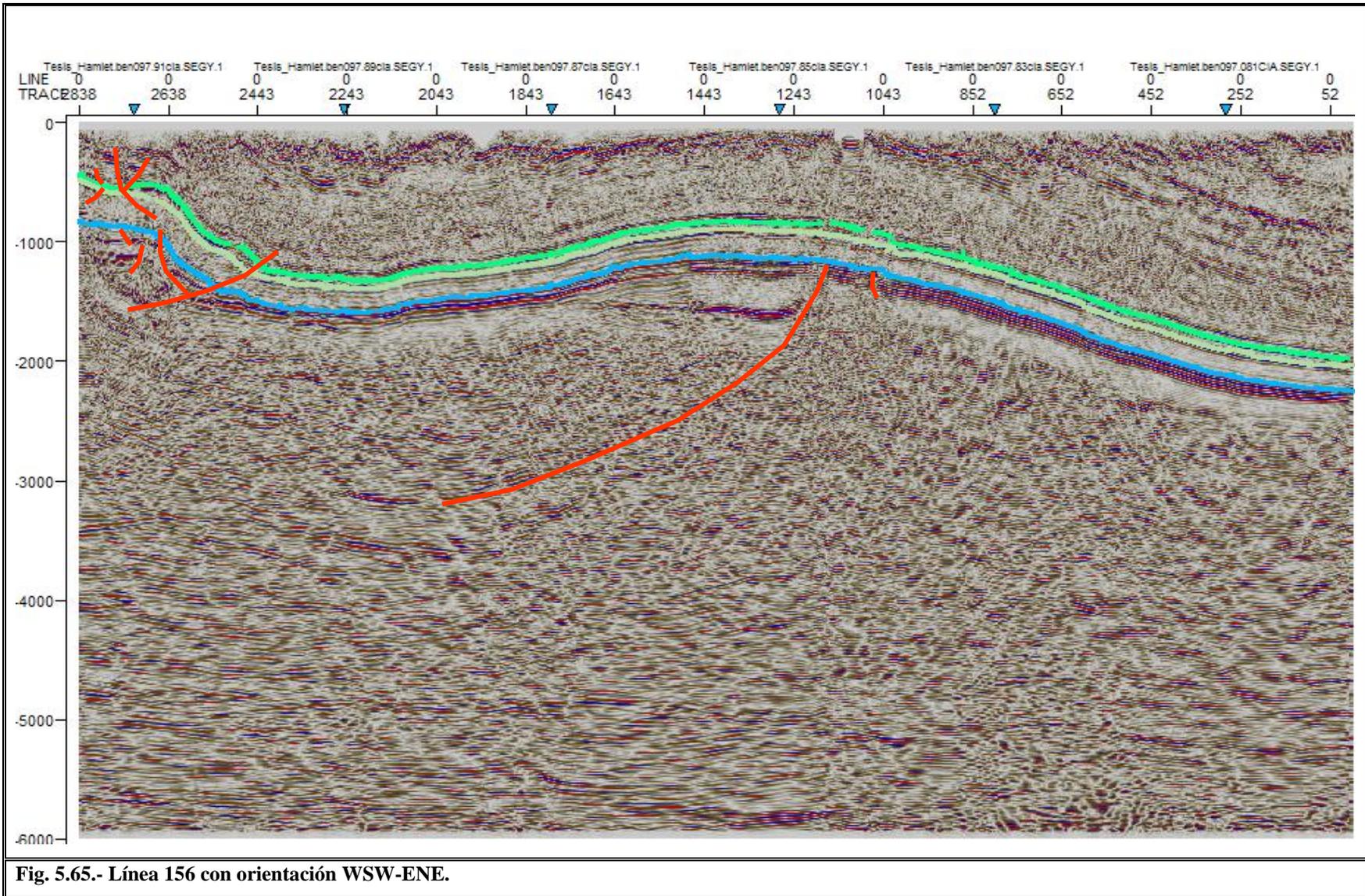
Se pueden observar bajo los CDP'S antes mencionados a la altura de 1 seg. (1000 ms) dos pequeñas fallas normales que afectan solamente a sedimentos del Jurásico Superior.

Se aprecia también entre los CDP'S 2638 y 2443 otra falla normal, esta falla se encuentra afectando desde una pequeña parte del basamento pasando por los sedimentos del Jurásico Superior, Cretácico Inferior culminando en la Fm. Agua Nueva del Cretácico Superior.

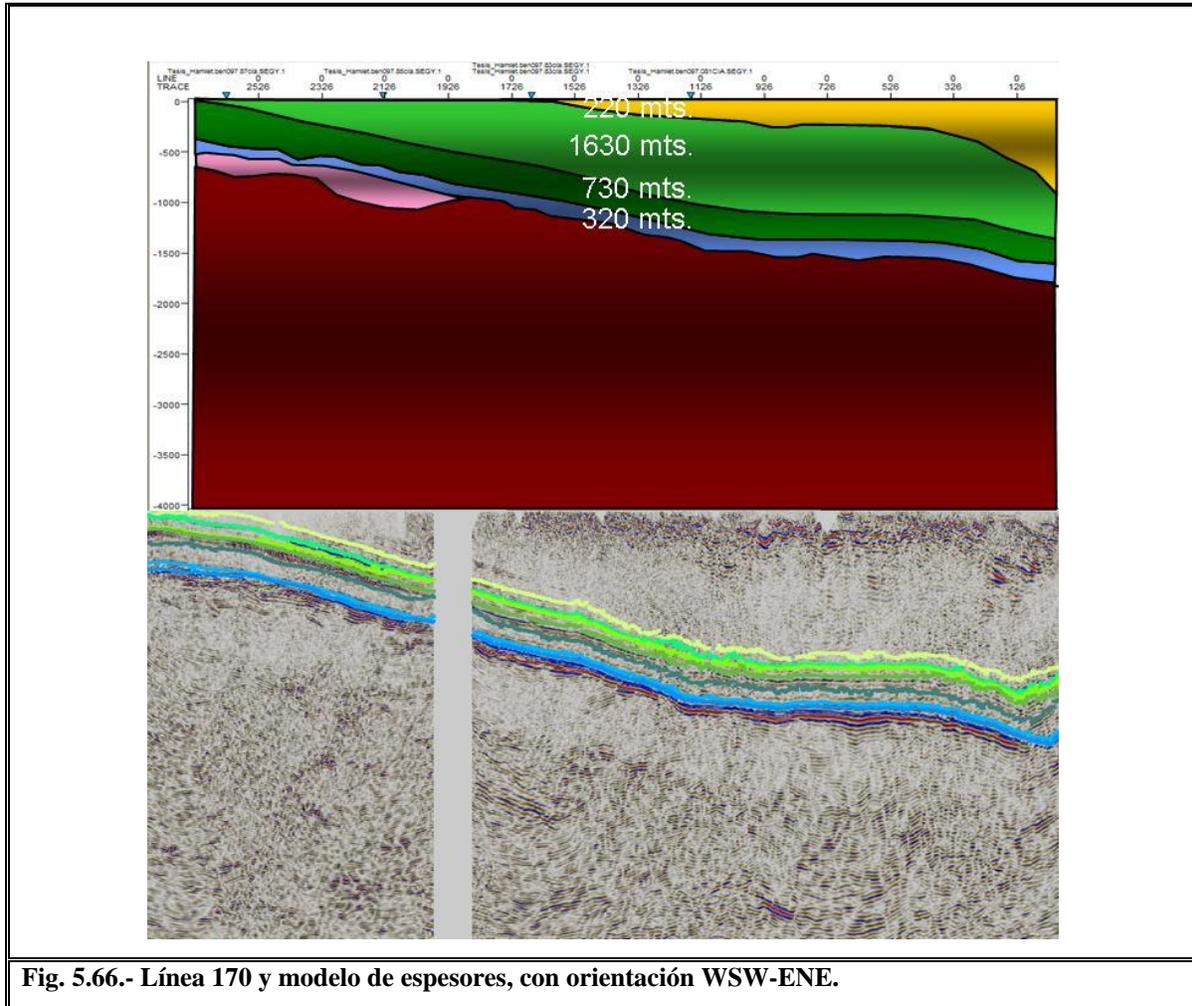
Estas fallas son producto del empuje que se origino debido a la Orogenia Laramide, aunado a esta situación la morfología del basamento jugo un papel importante en la deformación de esta sección y en general de toda esta área.

Bajo los CDP'S 1843 a 1243 se observa una gran falla lístrica, dicha falla se encuentra definiendo el limite de un bloque de basamento, hacia la izquierda de esta falla bajo el CDP 1243 a la altura de 1.5 seg. (1500 ms) aproximadamente se observa lo que se interpreto como el limite de un bloque de basamento, los reflectores que se observan a esa altura de la sección limitan dicha estructura la cual en conjunto con el bloque alto que tiene a un lado forma una fosa, se interpreto entonces que se encuentra rellena de sedimentos del Triásico Lechos Rojos para ser mas exactos, esta interpretación coincide con lo descrito en la sección 178 en la cual se observan estas mismas estructuras.

Por ultimo bajo el CDP 1043 se observa una pequeña falla normal la cual se encuentra afectando solamente a sedimentos del Jurásico Superior culminando dentro de la Fm. La Casita.



La siguiente línea es la 170 y se observa en la figura 5.66, junto con su respectivo modelo de espesores, tiene una orientación WSW-ENE y cuenta con una longitud de 34.825 km esta línea se ubica al NE y se encuentra en los límites superiores del área de estudio.



**Fig. 5.66.- Línea 170 y modelo de espesores, con orientación WSW-ENE.**

Dentro de la imagen se observa el modelo de espesores en la parte superior y en la parte inferior la línea sísmica correspondiente, dentro de esta línea se aprecian en color los horizontes de las formaciones Olvido, La Casita, Taraises, Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva.

De manera general dentro del modelo se puede observar como el basamento se profundiza hacia el extremo derecho de la sección esto es al ENE de la misma, hacia donde se profundiza el basamento se encuentra la Cuenca de Burgos y se puede observar también la

presencia de sedimentos del Terciario en esta parte de la sección. Teniendo en esta parte una profundización del basamento, la carpeta sedimentaria en consecuencia se hace más potente. De la misma manera en el extremo izquierdo de la sección o WNW de la misma, se observa que de manera general el basamento tiende a subir pero se pueden observar dos pequeños bajos o fosas las cuales se interpreta están rellenas de sedimentos del Triásico (Lechos Rojos), aumentado estos el grosor de la carpeta sedimentaria en este extremo de la sección.

De manera general se observa que esta línea tiene una topografía muy suave, en la parte central de la misma se distinguen por paquetes al Jurásico Superior con 320 m de espesor, al Cretácico Inferior con 730 m de espesor, al Cretácico Superior con 1630 m de espesor y por ultimo se observan también sedimentos Terciarios con un espesor de 220 m para esta parte de la sección ya que tienden a engrosarse hacia el ENE de la misma. Teniendo entonces un espesor neto de sedimentos de 2900 m y como anteriormente se ha mencionado este espesor tiende a ser mayor al ENE de esta sección.

Observando en conjunto los modelos se puede decir con certeza que el basamento tiende a hacerse mas profundo hacia el NE del área de estudio, también se puede afirmar que hacia el centro del área el basamento es estructuralmente mas alto en relación a sus flancos, de igual manera se observa que hacia el NNW del área el basamento se profundiza un poco y ocurre lo contrario al SSW en donde se aprecia que la carpeta sedimentaria es menos potente, a su vez se observa en la porción Oeste del área una topografía muy suave lo cual indica que la deformación o empuje Laramídico no tuvo resistencia en esta parte.

Por el contrario al centro del área el basamento tiende a ser mas alto, es por esto que al centro se encuentran mas estructuras plegadas, ya que la deformación se topo con los altos de basamento que se opusieron a la deformación, esto da como resultado que los sedimentos se plegaran y en algunos casos se observan pliegues con vergencias opuestas al sentido de la deformación.

5.5. - Modelos de Velocidades

Como parte de este trabajo también se realizaron algunos modelos de velocidades de intervalo de las ondas sísmicas, para ciertas secciones dentro del área. Para elaborar estos modelos se tomaron en cuenta los mejores campos de velocidades de las líneas que fueron procesadas para este trabajo. Las unidades para los valores de las velocidades son  $m/s^2$ .

Es importante mencionar que los modelos no se hicieron por formaciones geológicas si no por paquetes (Jurásico, Cretácico Inferior, Superior, etc.). En la figura 5.67 se muestran en color rojo las líneas usadas para realizar estos modelos, como se puede ver son tres líneas en la parte Oeste del área de estudio, una de la parte Este y una completa de WSW- ENE.

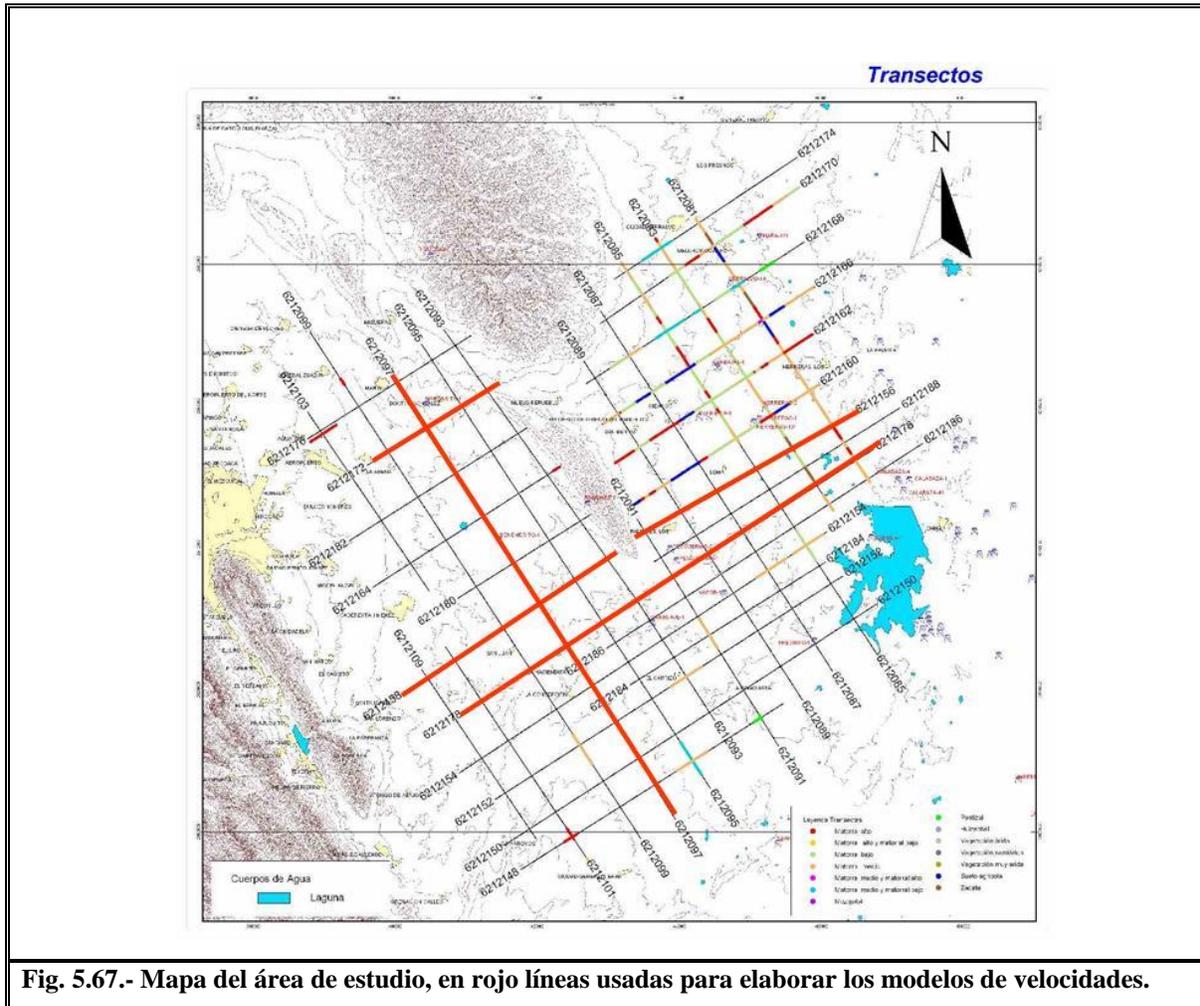


Fig. 5.67.- Mapa del área de estudio, en rojo líneas usadas para elaborar los modelos de velocidades.

El primer modelo que se aprecia en la figura 5.68, es el correspondiente a la línea 172 ubicada al NNW del área de estudio. En la parte superior se observa la línea sísmica correspondiente y bajo de ella el modelo de velocidades correspondiente.

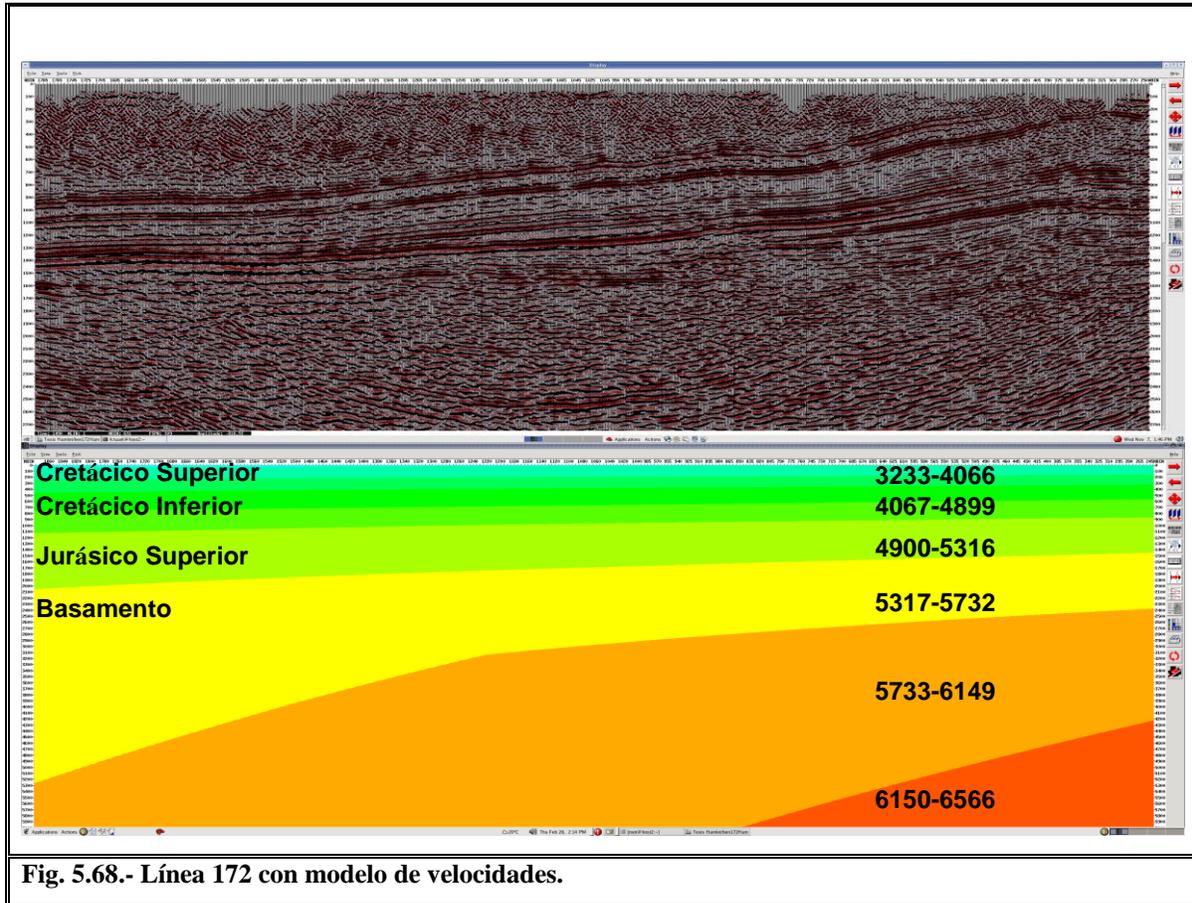


Fig. 5.68.- Línea 172 con modelo de velocidades.

Las líneas fueron descritas ya con anterioridad, así que se describe solo lo que se observa dentro del modelo de velocidades. La morfología que se observa dentro del modelo de velocidades debe de ser parecida a la observada dentro de la línea sísmica. Se puede observar al igual que en la línea como el basamento tiende a subir hacia ENE, y se registraron las siguientes velocidades por paquetes:

Basamento	de	5317 a 6566
Jurásico Superior	de	4900 a 5316
Cretácico Inferior	de	4067 a 4899
Cretácico Superior	de	3233 a 4066

La siguiente línea es la 097 con su respectivo modelo de velocidades y se aprecia en la figura 5.69, es importante destacar que algunos modelos no reflejan exactamente la morfología que se observa en la línea, si bien debe ser parecida mas no igual y en algunos casos se observan grandes diferencias, esto es debido a que en el momento de realizar el picado de velocidades quedaron muy altas o muy bajas en esta parte y puede deberse a que se dejaron altas para no realizar una inversión o debido a que no se observaron amplitudes significativas dentro del modo gráfico para el picado de velocidades y se respeto la tendencia de las velocidades anteriores.

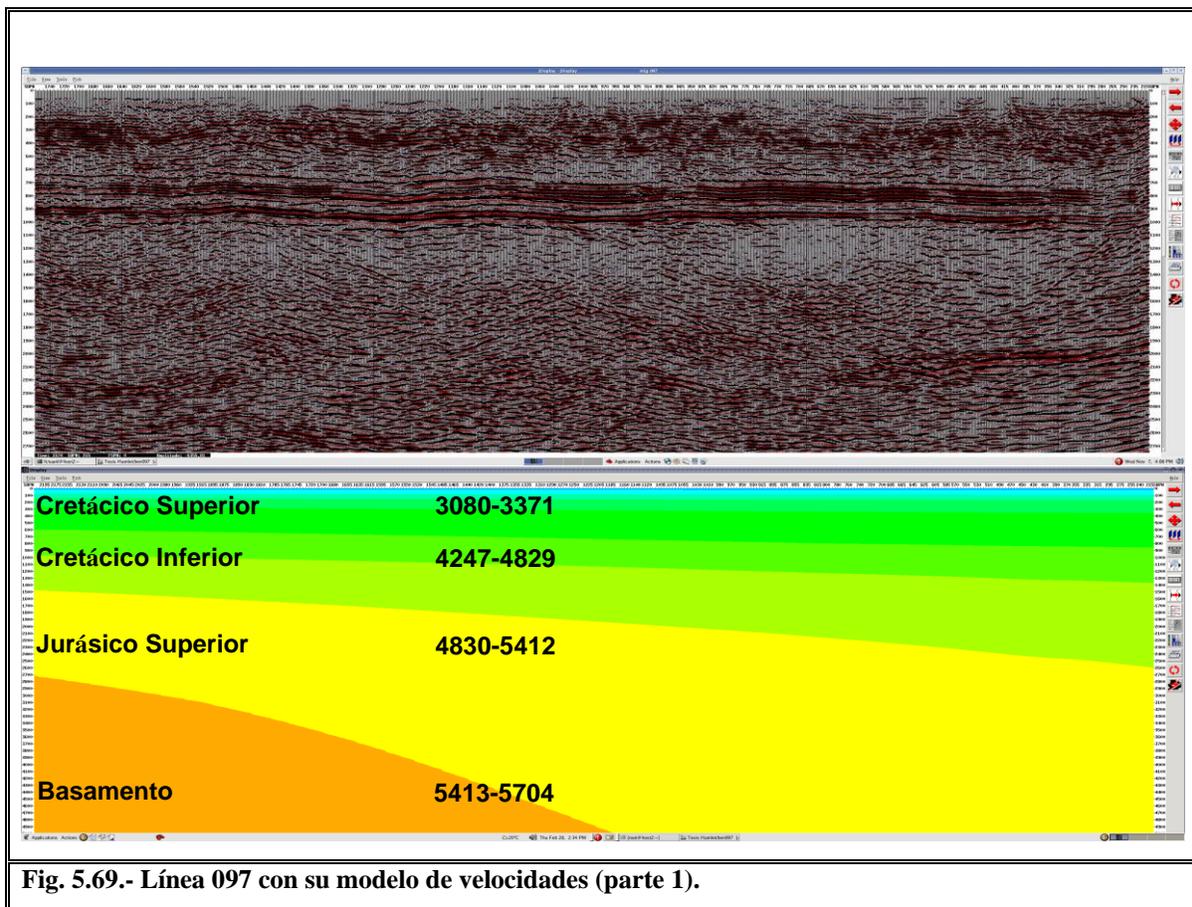


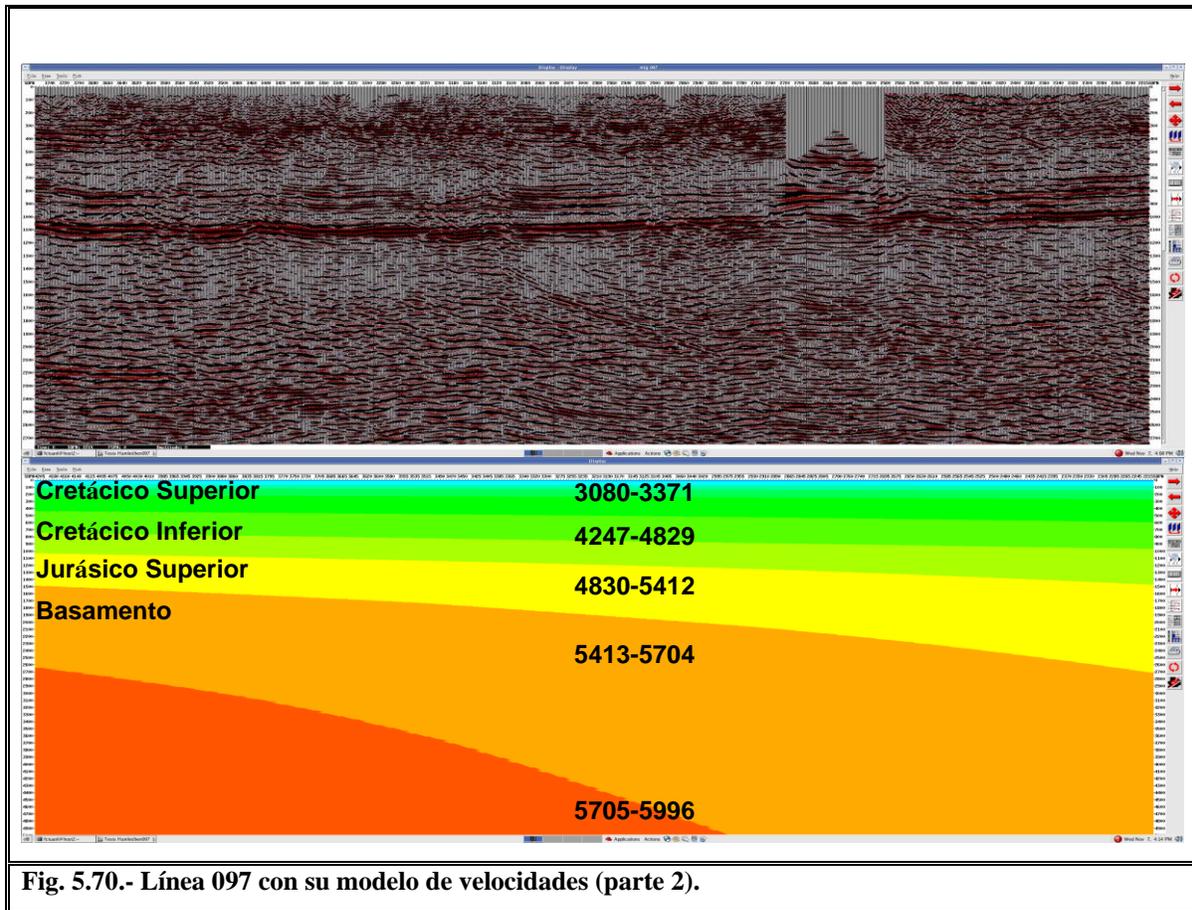
Fig. 5.69.- Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 1).

La línea 097 tiene una orientación SSE-NNW, en esta línea el basamento se someriza hacia el SSE que es precisamente la parte que se observa en la imagen, es importante mencionar que en la figura solo se observa la tercera parte de la línea ya que por su tamaño se presenta en tres partes para poder mostrar completo el modelo de velocidades para todo el perfil.

El modelo de velocidades dio como resultado los siguientes datos:

Basamento	de	5705 a 6000
Jurásico Superior	de	5413 a 5704
Cretácico Inferior	de	4247 a 5412
Cretácico Superior	de	3080 a 3371

En la figura 5.70, se aprecia la segunda parte de la línea con su respectivo modelo de velocidades.



**Fig. 5.70.- Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 2).**

En esta parte de la línea y del modelo, se observa una topografía muy suave en general, esta imagen corresponde a la segunda parte de la sección, esta línea esta al Oeste del área de estudio.

En esta línea el basamento se profundiza hacia el NNW que es precisamente la parte que se observa en la figura 5.71, como ya se ha mencionado en la descripción de los modelos de espesores, en esta parte la carpeta sedimentaria se hace más potente.

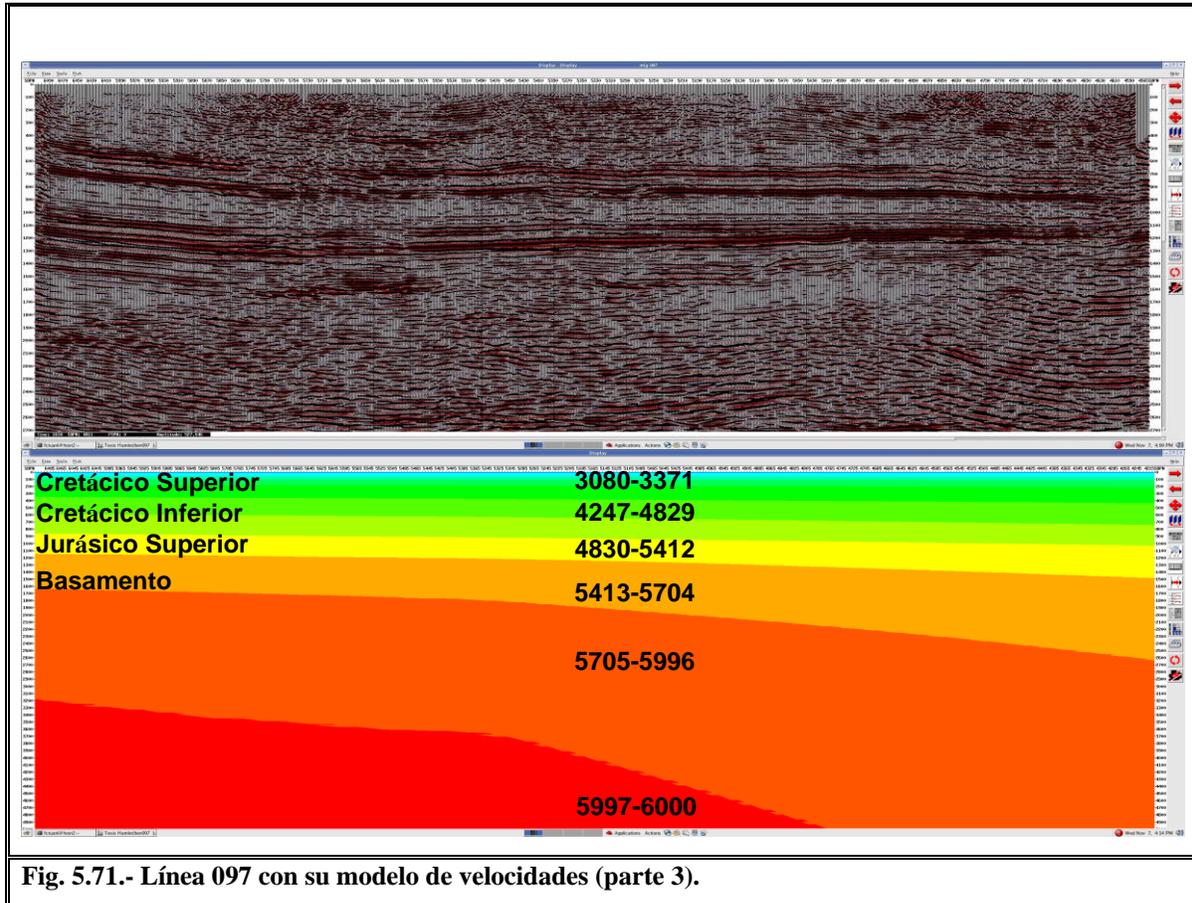


Fig. 5.71.- Línea 097 con su modelo de velocidades (parte 3).

Conforme la línea se acerca al NNW de la misma, se observa que las velocidades para la parte correspondiente al basamento van en aumento, comenzando en la parte 1 de la línea en 5413, hacia la parte media se registra un aumento a 5705 y se concluye en la parte final de la línea con 6000, esto hacia la parte en la cual se hace mas profundo el basamento.

Por el contrario en la parte 1 los sedimentos parecen tener más presencia que la parte basal y en la sísmica se observa lo contrario, esto se puede deber a que las velocidades son demasiado altas para esta parte de la sección. Esto tiene solución pero se dejo de esta manera ya que en esta línea se tuvo problemas con los datos de campo, falta información y la línea presentaba demasiadas trazas ruidosas.

En la siguiente figura 5.72, se observa el modelo de velocidades correspondiente a la línea 158, la cual tiene una orientación WSW-ENE, este modelo al igual que el anterior se dividió en dos partes debido a su tamaño, lo que se aprecia es la primera parte del mismo.

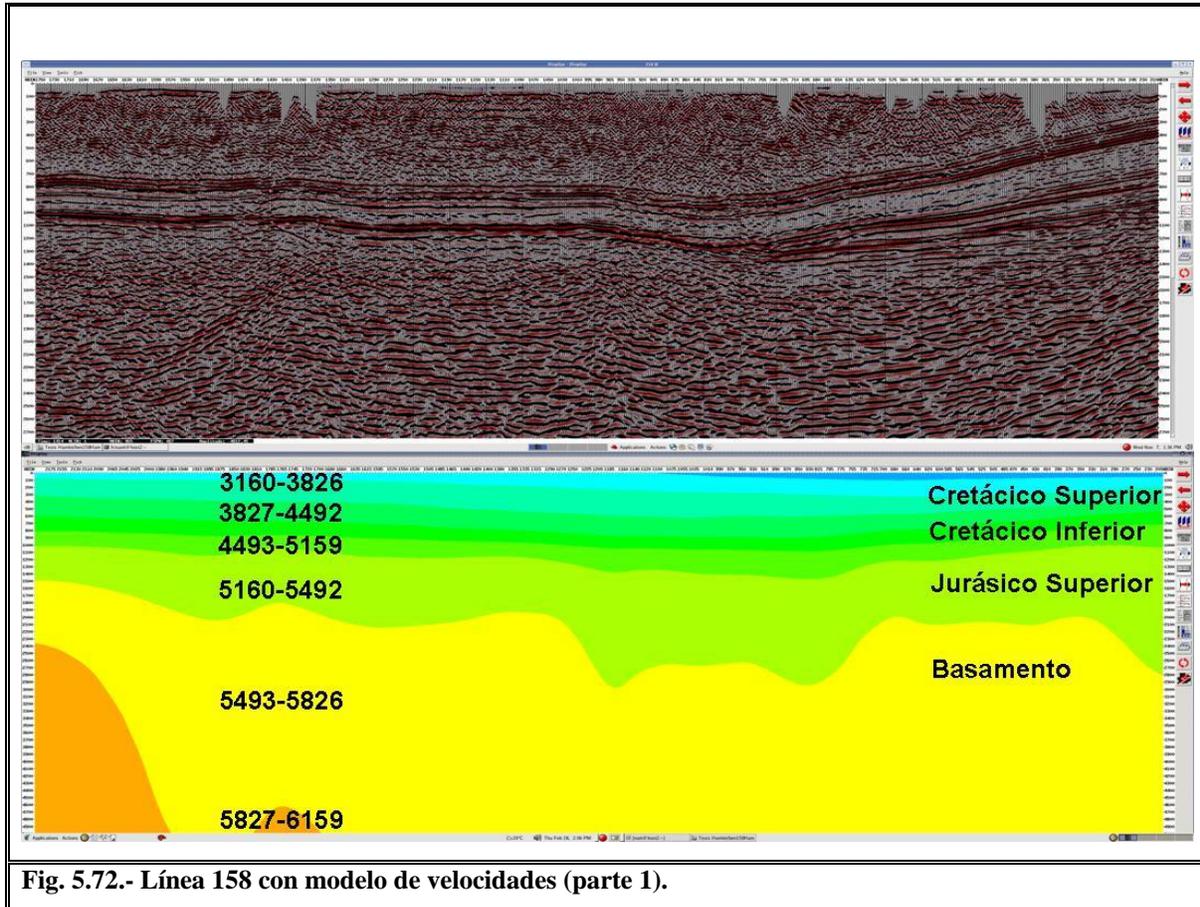


Fig. 5.72.- Línea 158 con modelo de velocidades (parte 1).

En la figura se puede observar como el modelo de velocidades refleja en gran parte la morfología de la línea sísmica, se aprecia en el extremo derecho WSW de la línea, una topografía suave y lo que parece un alto basal, seguido en la parte media de un pequeño descenso en la parte sedimentaria y un bajo en el basamento, ya en la extremo izquierdo o bien ENE de la línea, se observa un ascenso tanto en el basamento como en los sedimentos tal como se observa en la sección sísmica.

Los valores obtenidos del modelo de velocidades sísmicas de esta línea, que se encuentra al centro área de estudio son:

Basamento	de	5160 a 6492
Jurásico Superior	de	4827 a 5159
Cretácico Inferior	de	4160 a 4826
Cretácico Superior	de	3160 a 4159

En la siguiente figura 5.73, se observa la segunda parte del modelo de velocidades para la línea 158 ubicada hacia el WSW de la misma.

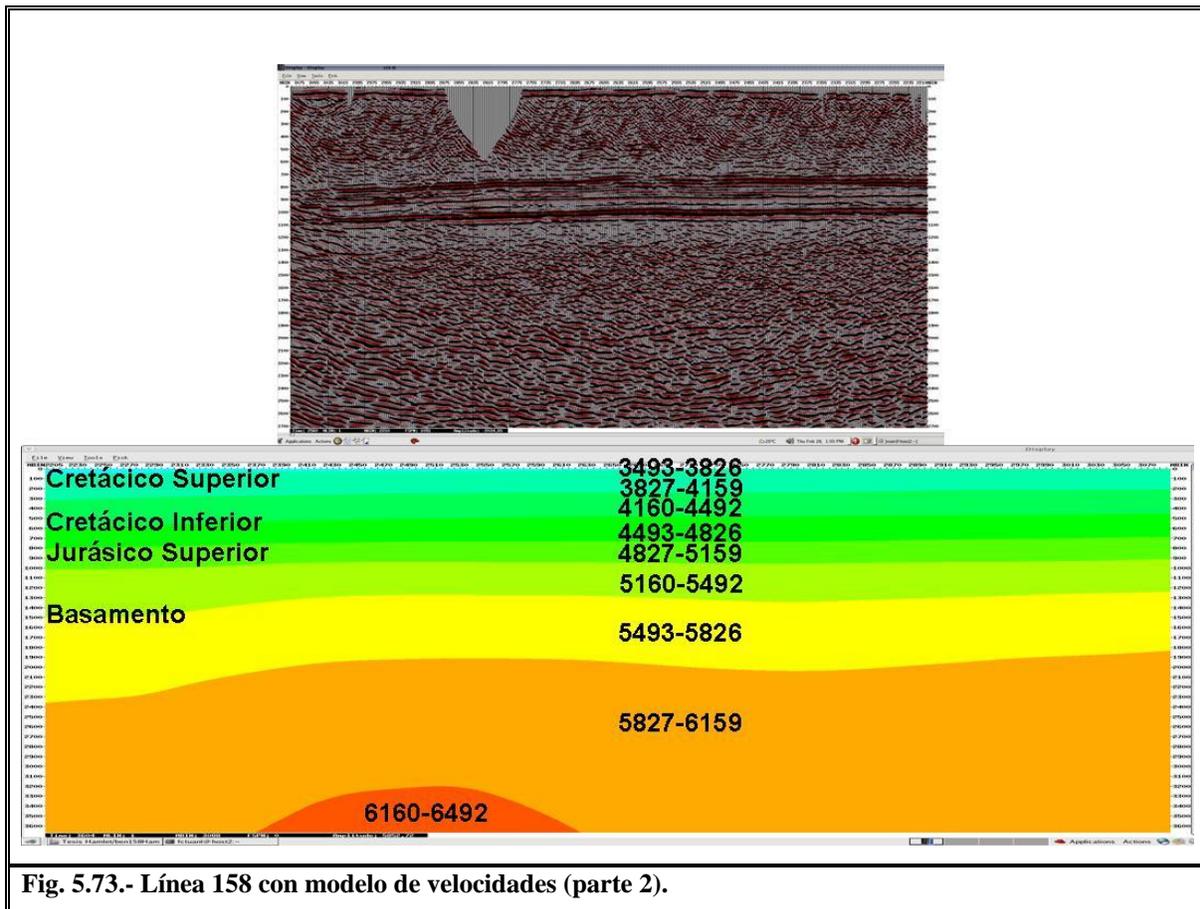


Fig. 5.73.- Línea 158 con modelo de velocidades (parte 2).

Se puede apreciar al igual que en la línea sísmica, una topografía muy suave, las velocidades no presentan cambios abruptos, la única diferencia en cuanto a la primera parte radica en que en esta parte se observa un incremento en las velocidades registradas para el basamento, esto hacia el WSW de la sección y como es de esperarse hacia la parte mas profunda que se observa dentro de la sísmica y el modelo de velocidades.

El siguiente modelo de velocidades corresponde a la línea 178, esta se encuentra al centro del área de estudio y es el único modelo en el que se puede observar un perfil completo de WSW a ENE, la línea tiene esta misma orientación y se aprecia en la figura 5.74.

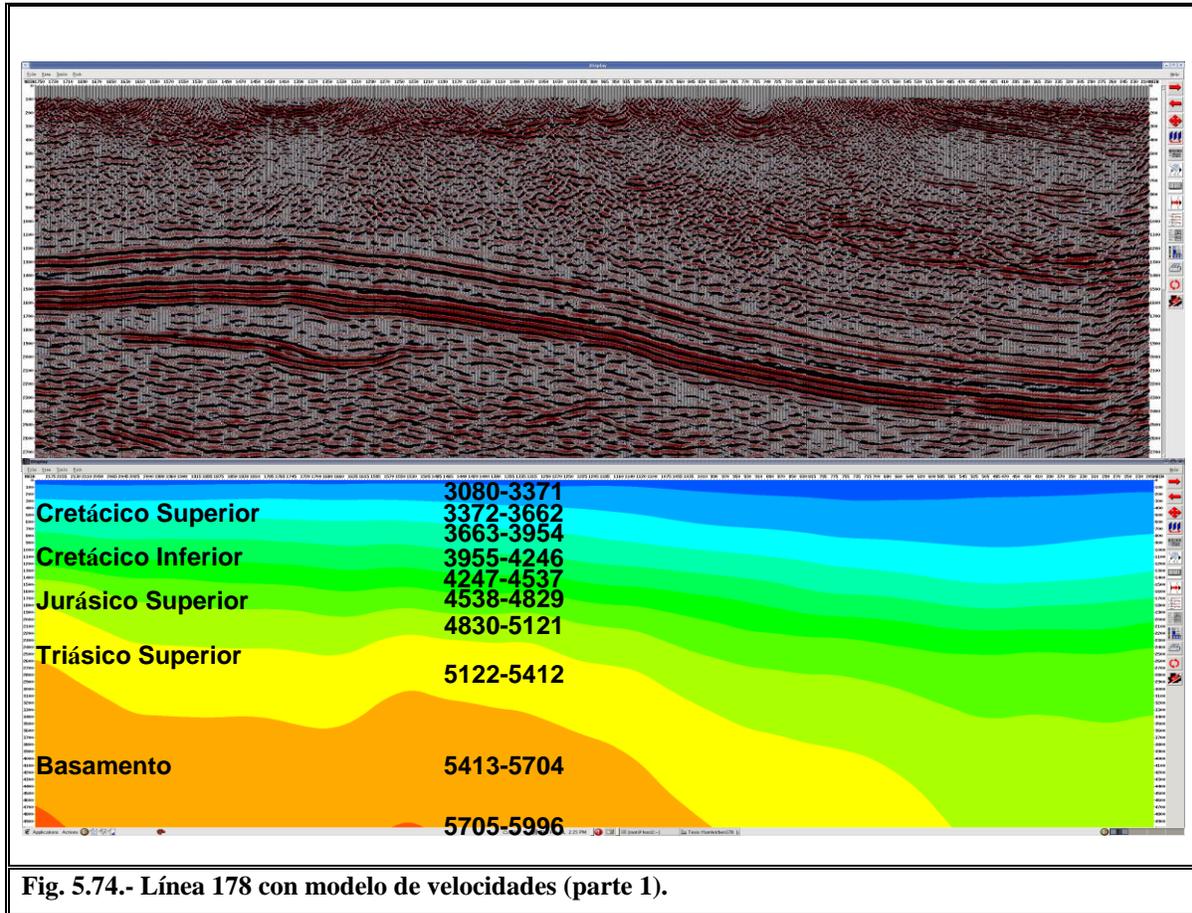


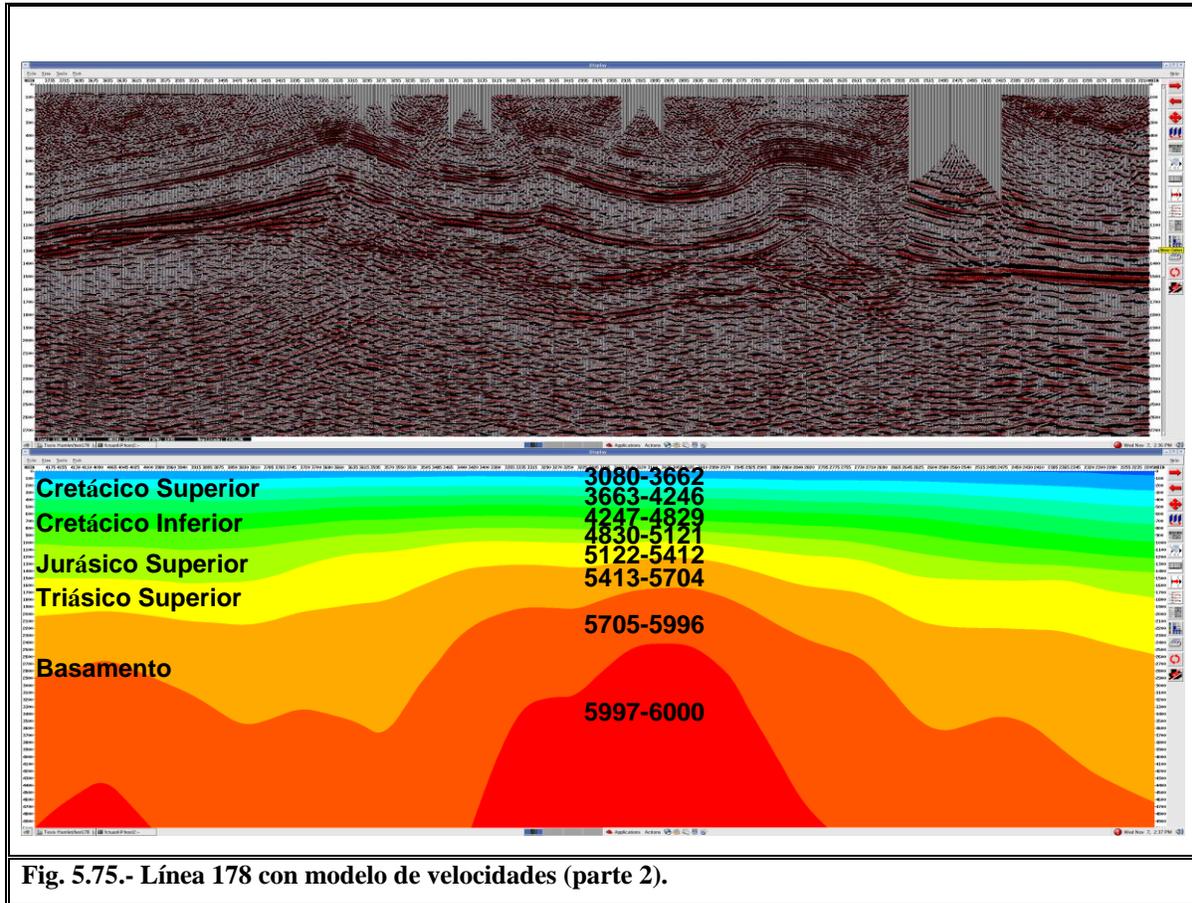
Fig. 5.74.- Línea 178 con modelo de velocidades (parte 1).

En la figura se puede apreciar en la parte central, el límite de un bloque de basamento, se aprecia el alto basal y en seguida se observa como el basamento y los sedimentos se profundizan hacia la Cuenca de Burgos.

Esta es la primera parte de la línea y del modelo de velocidades, la porción que se observa en ambos se encuentra al Este de la línea y la línea por su parte se encuentra en la parte media del área de estudio.

Debido al tamaño de la línea sísmica se tuvo que dividir en tres partes, ya que el modelo de velocidades en una sola exhibición se apreciaba con baja calidad.

En la siguiente figura 5.75, se puede observar la segunda parte de esta línea con su respectivo modelo, esta porción se encuentra al centro de la línea y también al centro del área de estudio.



En esta porción de la línea y del modelo se observa la parte plegada que corresponde a la Sierra de Papagayos ya en el subsuelo, se aprecian dos altos basales que ejercieron la contrafuerza a la deformación y se corrobora con esto lo antes dicho en los modelos de espesores.

Tanto en la primera parte de la sección como en la segunda, se observan rasgos similares dentro del modelo de velocidades sísmicas, esto da la certeza de que el modelo es correcto y lo mas aproximado posible. Cabe mencionar que para elaborar dichos modelos se tomaron las mejores velocidades obtenidas en cada línea que fue procesada.

Y para concluir con esta línea, se aprecia dentro de la figura 5.76, la tercera parte de esta sección sísmica con su respectivo modelo de velocidades. Esta parte se encuentra al Oeste de la línea.

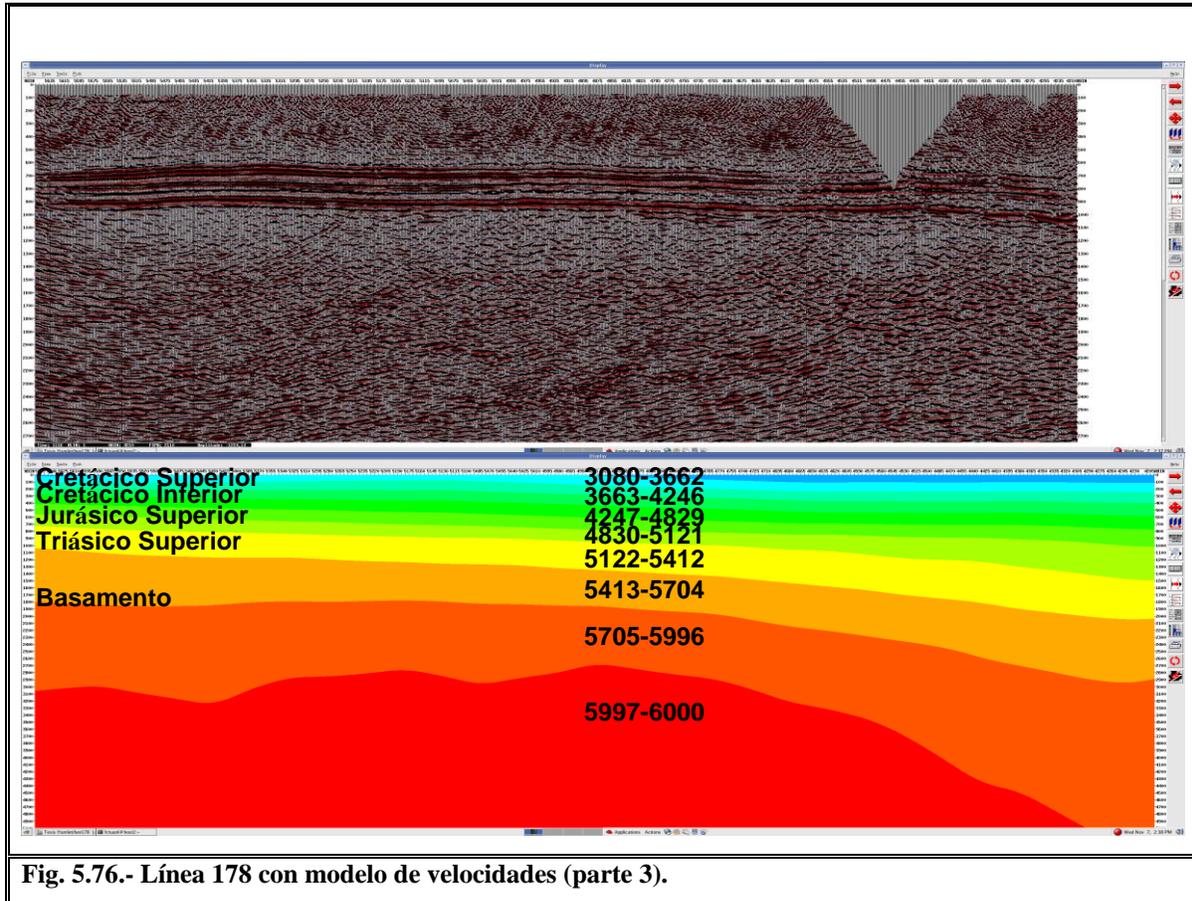


Fig. 5.76.- Línea 178 con modelo de velocidades (parte 3).

Tal como se observa en la línea y en el modelo la topografía es muy suave en esta parte, se aprecia una mayor porción de velocidades altas dentro del basamento con respecto a la parte 1 y en conclusión las velocidades obtenidas de este modelo son:

Basamento	de	5413 a 6000
Triásico Superior	de	5122 a 5412
Jurásico Superior	de	4830 a 5121
Cretácico Inferior	de	3955 a 4829
Cretácico Superior	de	3080 a 3954

La última línea es la 156 y se puede apreciar en la figura 5.77, con su respectivo modelo de velocidades sísmicas, esta línea esta orientada WSW-ENE y se encuentra al Este y al centro dentro del área de estudio, es la continuidad de la línea 158 la cual se ve interrumpida debido a la Sierra de Papagayos.

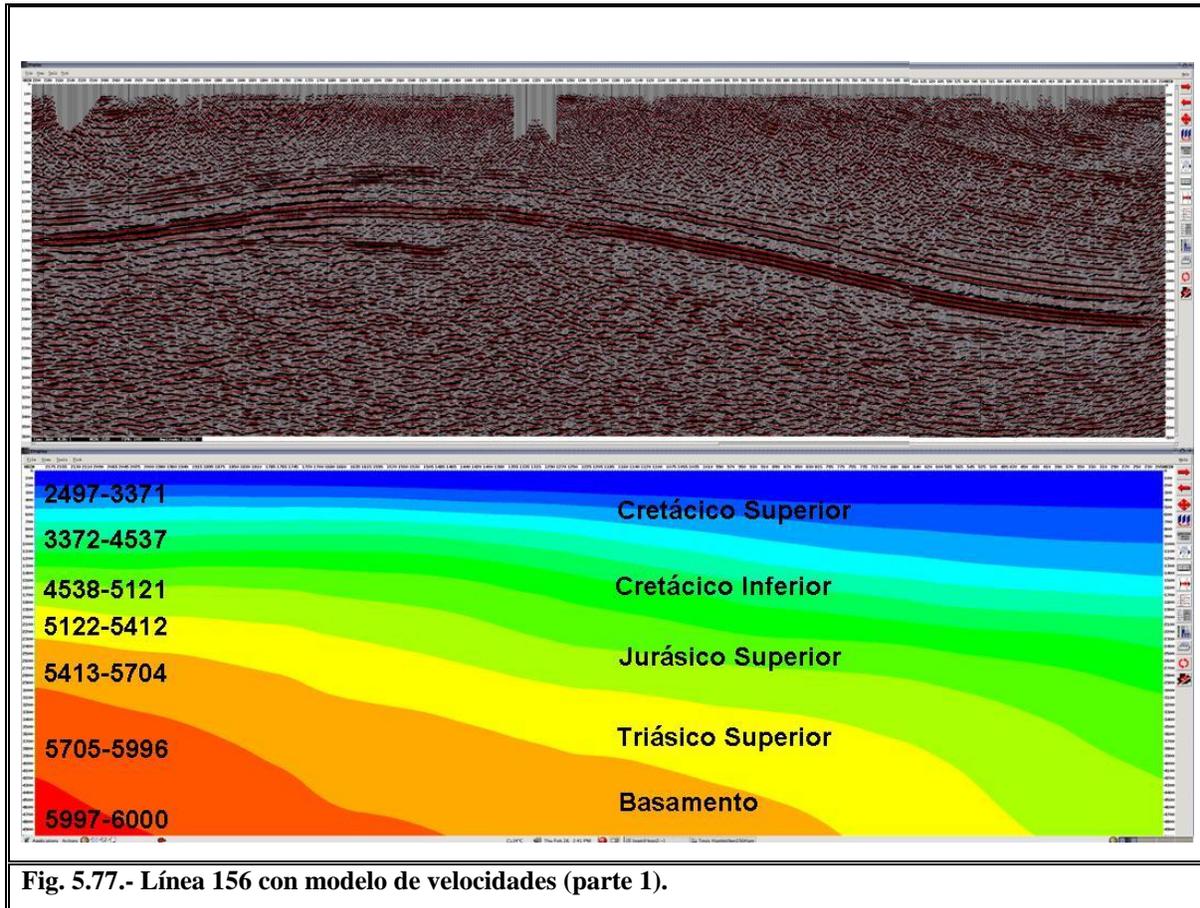


Fig. 5.77.- Línea 156 con modelo de velocidades (parte 1).

Tanto en el modelo de velocidades como en la línea se puede observar un descenso tanto de los sedimentos como del basamento, en esta primera parte de la línea se observa también la profundización hacia la Cuenca de Burgos en el extremo derecho de la sección o al ENE de la misma.

En la parte media de la sección se aprecia al igual que en la línea 178, lo que se interpreto como un alto de basamento el cual desciende hacia el ENE y hacia el WSW de la línea se observa también una parte profunda tanto en los sedimentos como en el basamento.

Por ultimo en la segunda parte de este modelo y sección se puede observar en la figura 5.78, el descenso de los sedimentos y de la parte basal, la parte que se observa en el extremo izquierdo de la sección o al WSW de la misma corresponde a los inicios de la Sierra de Papagayos, la parte baja que se observa en el resto de la sección posteriormente asciende debido a un alto de basamento y esto se distingue en la figura anterior.

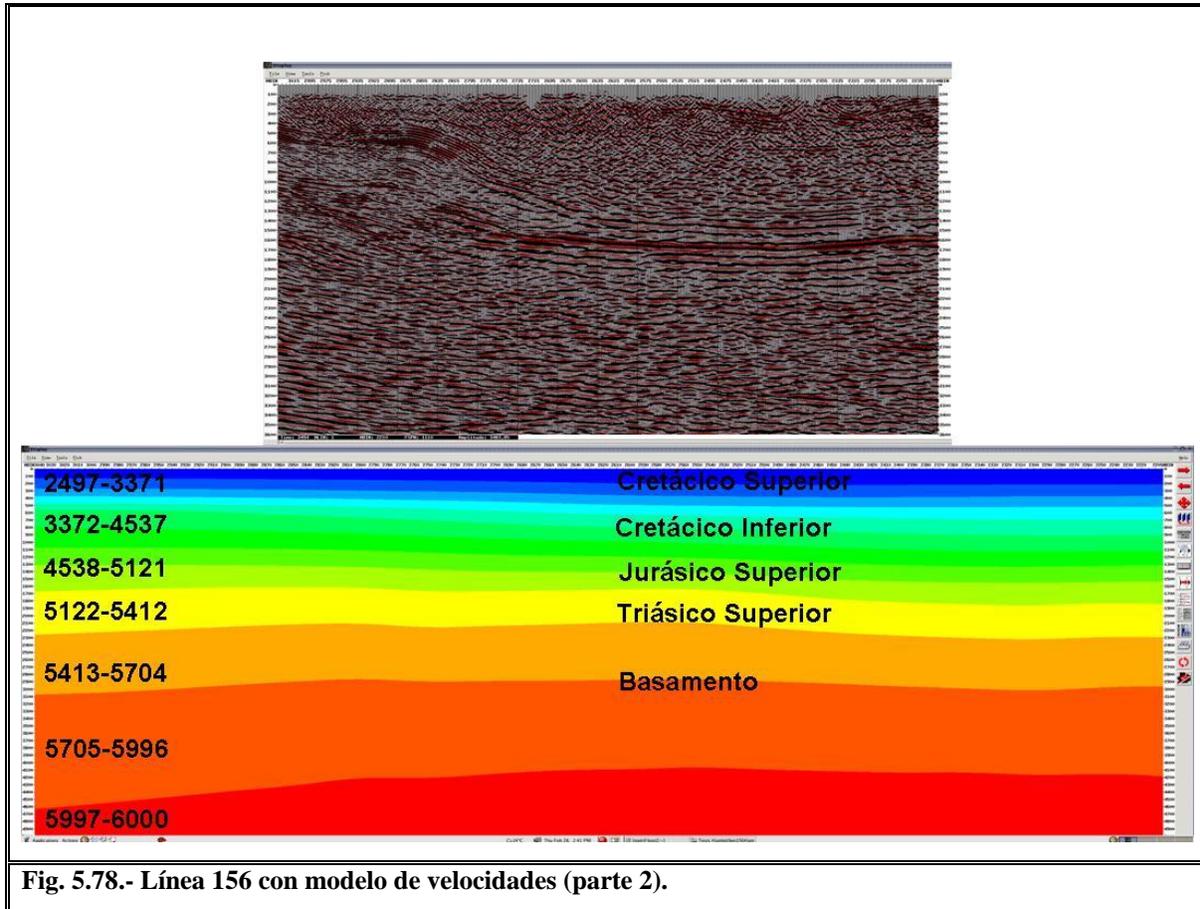


Fig. 5.78.- Línea 156 con modelo de velocidades (parte 2).

Las velocidades sísmicas obtenidas de este modelo son las siguientes:

Basamento	de	5413 a 6000
Triásico Superior	de	5122 a 5412
Jurásico Superior	de	4538 a 5121
Cretácico Inferior	de	3372 a 4537
Cretácico Superior	de	2497 a 3371

### 5.6. - *Datos Superficiales*

Hasta el momento todo el trabajo del que se ha hablado se enfoca a datos que se generan dentro del subsuelo, si bien es la parte más fuerte en este trabajo y de lo que mas se tiene que abundar dentro del mismo, pero como un complemento se realizo una visita a campo y fue precisamente a la Sierra de Papagayos misma de la que tanto se ha hablado dentro de este trabajo.

La visita a campo tuvo como objetivo la toma de datos estructurales, el reconocer las formaciones geológicas que afloran en el lugar y buscar evidencia de fallamiento inverso hacia el lado Este de la Sierra.

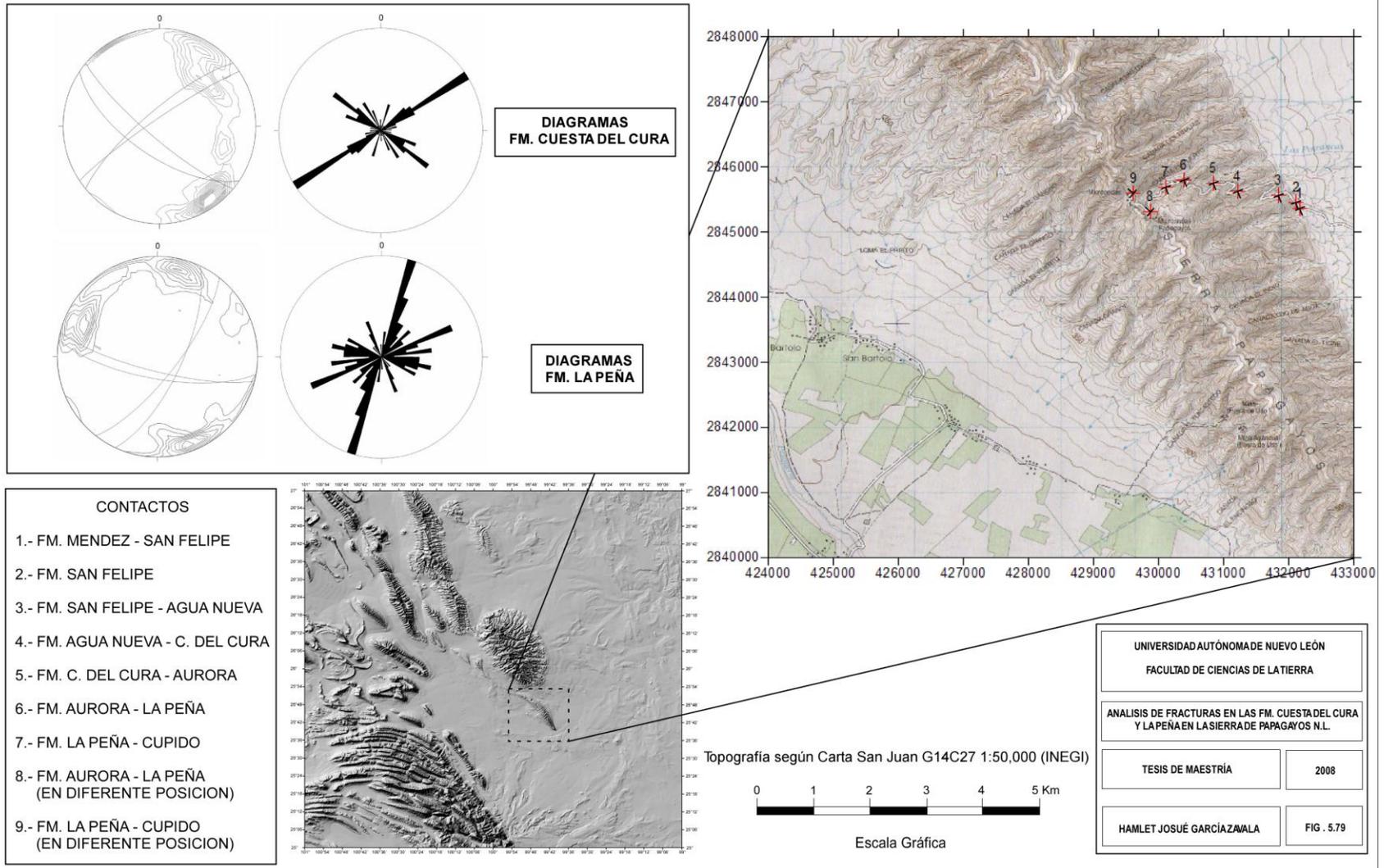
Se pretendía con los datos estructurales tratar de dar seguimiento a las líneas sísmicas 156 y 158 y tratar de interpolarlas de ser posible. Posterior al viaje realizado a campo se realizaron las Configuraciones en Tiempo en las cuales dichas interpolaciones se pudieron realizar de una manera aproximada.

Se tomaron también datos de fracturas en las formaciones Cuesta del Cura y La Peña, con la intención de ver hacia donde están concentrados los esfuerzos dentro de esta Sierra y de la misma manera poder asegurar que el sentido de la deformación y de los esfuerzos en esta Sierra coincide con otras estructuras de origen Laramidico.

Los resultados del análisis de dichas fracturas se presentan en la figura 5.79 en la cual se observa el área de la Sierra de Papagayos y los puntos en los que se tomaron los datos estructurales, los datos de fracturamiento se tomaron entre los puntos 4 y 7.

Se puede observar gracias a las redes de Schmidt que los esfuerzos en ambas formaciones están concentrados de SW a NE, lo cual coincide con el sentido del empuje Laramidico que vino de Oeste a Este.

### ANÁLISIS DE FRACTURAS EN LAS FM. CUESTA DEL CURA Y LA PEÑA (SIERRA DE PAPAGAYOS)



## 6.- Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1.- Conclusiones

Para finalizar este trabajo se hablará de los resultados obtenidos a lo largo del mismo así como de algunas áreas de oportunidad encontradas y que se piensa pueden ser aprovechadas en un futuro.

En primer lugar se hablará de la parte de procesado la cual fue un poco lenta debido a que no se tenía una secuencia de proceso base establecida en el *CPS* para el software *SeisUp*, sin embargo a lo largo de este trabajo se fue armando la secuencia de proceso con la que se trabajaron las líneas de este proyecto quedando esta como una secuencia de proceso base para otros trabajos, cabe mencionar que si se realizan trabajos dentro del área o cercanos a ella, los parámetros cargados en dicha secuencia pueden servir tal y como se encuentran y si son trabajos totalmente fuera del área solo es cuestión de variar algunos parámetros y la secuencia de proceso seguirá funcionando de manera eficiente.

Las líneas procesadas quedaron listas para realizar Migración Preapilamiento en profundidad y AVO (Amplitud vs. Offset), se cuenta además de la secuencia de proceso base antes mencionada la cual abarca hasta Migración Preapilamiento en Tiempo, con otra secuencia de proceso que abarca hasta AVO. Las dos secuencias son similares hasta la parte de la Migración Pre-Apilamiento en Tiempo, la diferencia entre ambas secuencias radica en el flujo anexo correspondiente al AVO. Es importante mencionar que el flujo o secuencia de proceso se realizó pensando en líneas 2D, también es importante mencionar que se cuenta en el Centro de Proceso con un flujo para realizar cubos sísmicos en 3D y que muchos de los flujos utilizados para la secuencia en 2D sirven para realizar el 3D.

Al iniciar este trabajo fueron proporcionadas por PEMEX (PEP) imágenes migradas en tiempo de algunas de las líneas con las cuales se trabajo, estas fueron usadas con el fin de comparar las secciones obtenidas con el software *Seisup* y se obtuvieron resultados satisfactorios ya que algunas líneas mejoraron y otras quedaron con la misma calidad

que las líneas procesadas por una compañía y con otro software. Los datos para realizar el procesado de las secciones sísmicas con Seisup en el centro de procesado de la Facultad de Ciencias de la Tierra, fueron recibidos desde datos crudos de campo, lo cual quiere decir que el procesado se inició desde cero hasta llegar a la Migración Preapilamiento en Tiempo.

Por la parte de interpretación se encontró en el área evidencia clara de la influencia Laramidica así como de la apertura del Golfo de México, uno de los objetivos de esta tesis fue el mostrar el efecto de la Orogenia Laramide dentro del área de estudio lo cual se aprecia dentro de la descripción de las secciones interpretadas. En el área se cuenta con tres zonas y se clasificaron de la manera siguiente: a) Zona con poca deformación, b) Zona deformada y c) Zona de profundización.

A partir de la correlación con datos de pozos y la interpretación sísmica se generaron algunos modelos de espesores para el área de estudio de los cuales se observó que el basamento es más alto hacia la parte central del área, se profundiza hacia el NE coincidiendo con el inicio de la Cuenca de Burgos, presenta una morfología muy suave y se encuentra a poca profundidad al W del área y tiende a profundizarse de nueva cuenta hacia el NW de la misma. En consecuencia se aprecia un incremento de la carpeta sedimentaria hacia el NE teniendo los primeros reportes de sedimentos Terciarios dentro del área, la parte en la cual la carpeta sedimentaria es más delgada es en el NW del área de estudio. Algo que llamo la atención es el aumento notable de espesor de la formación Olvido del Jurásico Superior hacia el centro del área y al NE el espesor de la misma es más potente en comparación al W del área.

Como parte de este trabajo se realizaron modelos de velocidades de intervalo para algunas partes del área de estudio de los cuales se obtuvieron algunos modelos que coinciden con lo reflejado en la sísmica y con velocidades reportadas en trabajos anteriores cercanos al área.

Otra de las contribuciones de este trabajo fue la elaboración de configuraciones en tiempo para las formaciones que van del Jurásico Superior Olvido a Cretácico Superior Agua Nueva.

Se realizó una visita a la Sierra de Papagayos con el fin de tomar datos estructurales para corroborar la influencia Laramidica en la Sierra, de esta visita se concluyó que los esfuerzos registrados coinciden con los esfuerzos generados con la deformación Laramidica.

En resumen se concluye que:

- ✓ Por la parte de procesado, se dejó ya establecida una secuencia o flujo base de proceso, que a servido y servirá para futuros trabajos de procesado.
- ✓ Se probó la eficiencia del Software Seisup, con el cual cuenta el centro de procesado de esta Facultad.
- ✓ Los datos en las líneas procesadas quedaron listos para realizar PSDM y AVO.
- ✓ Los modelos de velocidades obtenidos reflejan un comportamiento similar a la geología de las líneas, por lo que se asume son correctos y dan así una buena herramienta para obtener mejores resultados en caso de realizarse PSDM.
- ✓ Se realizó la correlación entre pozos y la sísmica, de varios horizontes en todo el proyecto Benemérito-Linares Norte.
- ✓ El basamento se profundiza hacia la Planicie Costera del Golfo y la presencia de sedimentos terciarios aparece al oriente de la Sierra de Papagayos.
- ✓ En la parte central del área de estudio, el basamento presenta su parte más alta y en parte corresponde a la parte alta en la que se ubica también la Sierra de Picachos.
- ✓ Como producto de la correlación de horizontes se obtuvieron configuraciones en tiempo dentro del área de las formaciones que van de la formación Olvido del Jurásico Superior a la formación Agua Nueva del Cretácico Superior.

- ✓ Se confirmó la influencia de la Orogenia Laramide en la Sierra de Papagayos, encontrando que los esfuerzos registrados en la misma mediante el análisis de fracturas en las formaciones La Peña y Cuesta del Cura, coinciden con el sentido de la deformación laramídica.
- ✓ Se identificó el basamento de composición granítica reportado en algunos pozos, el cual muy probablemente corresponda al archipiélago de Tamaulipas.
- ✓ Se realizaron modelos de espesores para los flancos y centro del área de estudio, mostrando hacia donde es más delgada y hacia donde se hace más potente la carpeta sedimentaria.
- ✓ Se identificaron 3 zonas dentro del área y se clasificaron de la manera siguiente:  
a) zona con poca deformación, b) zona deformada y c) zona de profundización.

## **6.2.- Recomendaciones**

A lo largo de este trabajo fueron observadas ciertas áreas de oportunidad dentro de las cuales se podrían mejorar algunos aspectos en trabajos que se realicen en un futuro dentro del área. Algunas de las recomendaciones que se pueden hacer para futuros trabajos son las siguientes:

- ✓ Realizar la PSDM de las líneas sísmicas, lo cual no fue posible realizar ya que el software Seisup no contaba con el modulo para llevarla a cabo y a su vez por falta de tiempo ya que esto implica todo un proceso detallado.
- ✓ Realizar la configuración en profundidad de las formaciones que representen mayor interés, ya que como se mencionó con anterioridad no se pudo llevar a cabo por la escasez de datos como son curvas de tiempo vs. profundidad y algunos registros sísmicos y de densidad que hubiesen sido de gran utilidad para generar los sismogramas sintéticos y posteriormente realizar la conversión a profundidad.

- ✓ Hacer una reevaluación de las localizaciones de los pozos ya que algunos de ellos se encuentran en la culminación de los anticlinales y se podrían encontrar mejores resultados a los flancos de las estructuras.
  
- ✓ Derivado de lo anterior sería conveniente elaborar mapas de fracturamiento en estas localizaciones, que permitan ver hacia donde se encuentra la zona de mayor esfuerzo y así poder proponer alguna nueva localización de ser conveniente.
  
- ✓ Con esta información se pueden realizar también mapas de facies en el área de estudio.
  
- ✓ De no poder contar con los datos suficientes para realizar la conversión a profundidad y tomando en cuenta que no todos los pozos llegan al basamento, se recomienda hacer gravimetría en los flancos y al centro del área para delimitar con certeza el basamento.

## **Bibliografía**

Anderson, T. H., Schmidt, V.A. (1983): The Evolution of Middle America and the Gulf of Mexico – Caribbean Sea region during Mesozoic time. *Geol. Soc. Am. Bull.* 94, 941 – 966.

Burrows, R.H., (1910): Geology of Northern Mexico. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, tomo 7. p 85-103, 1 geologic map and section.

Camargo, Z. A., Quezada, M. J. M., (1991): Análisis Geológico-Económico de las Áreas del Golfo de México con Posibilidades Petroleras. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. XLI, No. 2, julio – diciembre de 1991, p. 1 – 32.

Carrasco, V.B., (1966): Bioestratigrafía del Mioceno en el área de Matamoros, Tamaulipas y su aplicación a la reinterpretación de los datos geofísicos locales: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, XVIII (1 y 2), 13–39.

Carrillo, B. J., (1959): Notas sobre el Paleozoico de la Región de Cd. Victoria, Tamaulipas. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. IX, p. 67 – 81.

Carrillo, B. J., (1971): Exploración Geológica y posibilidades petroleras de la Plataforma de Valles, - San Luís Potosí, Sierra Madre Oriental – Altiplano Mexicano. Instituto Mexicano del Petróleo.

Chulick, G. S., Mooney, W. D., (2002): Seismic structure of the crust and uppermost mantle of North America and adjacent oceanic basins: a synthesis. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92, 2478-2492.

Dumble, E.T., (1918): Geology of the Northern End of the Tampico Embayment Area. *Proc. California Acad. Sci. Ser. 4*, 56–113.

Dobrin, M.B., (1960): *Introduction to Geophysical Prospecting*. McGraw Hill, New York, 2nd edition, 446pp.

Echánove, E.O., (1976): *Geología del Paleoceno–Eoceno, Cuenca de Burgos (resumen)*, en *Memoria del III Simposium de Geología de Subsuelo, Zona Noreste, Reynosa, Tamaulipas: Reynosa, Tamaulipas, Petróleos Mexicanos (PEMEX)*, 254–271.

Echánove, E. O., (1986): *Geología Petrolera de la Cuenca de Burgos*. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. XXXVIII, No. 1, p. 3 – 74.

Eguiluz de Antuñano, S., Aranda García, M. y Marret, R., (2000): *Tectónica de la Sierra Madre oriental, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. LII, p. 1-26.

Eguiluz de Antuñano, S. (2001): *Geologic evolution and gas resources of the Sabinas Basin in northeastern Mexico*, in C. Bartolini, R.T. Buffler, and A. Cantú-Chapa, eds., *The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir 75*, p. 241-270.

Ewing, T.E., (1991): *The Gulf of Mexico, structural framework*, in Bally, A.W., Palmer, A.R. (eds.), *The Geology of North America – an overview: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America*, v. J, 31–52.

Flawn, T.P., Goldstein, A., King, B.P., Weaver, E.C., (1961): *The Ouachita System: Bureau of Economic Geology, University of Texas Publ. 6120*, 401 p.

Goldhammer R.K., Lehmann, P.J., Todd, R.G., Wilson, J.L., Ward, W.C., and Johnson, C.R., (1991): *Sequence stratigraphy and cyclostratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, northeast México, a field guide book: Gulf Coast Section. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist*. 85 p.

Goldhammer, R. K., (1999): *Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico*. En: Bartollini, C. Wilson, J.L., and Lawton, T.F. eds., *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Geological Society of America Special Paper 340*.

Gomberg, J. S., Priestley, K.F., Masters, T.G., Brune, J.M., (1988): The structure of the crust and upper mantle of northern Mexico. *Geophysics. J. Int.* 94, 1-20.

González, G.R., (1976): Bosquejo geológico de la zona noreste (resumen), en Memoria del III Simposium de Geología de Subsuelo, Zona Noreste, Reynosa, Tamaulipas: Reynosa, Tamaulipas, Petróleos Mexicanos (PEMEX), 5–30.

González, G. R., y Holguín, Q. N., (1992): Las Rocas Generadoras de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, Vol. XLII, No. 1.

Griffiths, D.H., King, R.F., (1971): *Geofísica aplicada para ingenieros y geólogos*, Madrid. Ed. Paraninfo.

Guzmán, E.J., (1956): Bosquejo geológico de las Regiones Noreste, Este y de la Meseta Central de México, en XX Congreso Geológico Internacional, Excursiones A-14 y C-6, *Estratigrafía del Cenozoico y del Mesozoico a lo largo de la Carretera entre Reynosa, Tamaulipas y México*, D. F.: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 11–36.

Harris, B.A., (1952): Ejemplos de afallamientos en el Distrito Noreste de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, IV (7 y 8), 297–302.

Humphrey W. E., (1954): Excursión al cañón de Peregrina, Ciudad Victoria Tamaulipas, *Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Primera Convención*, Guidebook 2, pages and structure section.

Imlay, R. W., (1936): Evolution of The Coahuila Peninsula Mexico, Part IV Geology of the western part of sierra de Parras, *Geol. Soc. Am. Bull.* Vol. 47 p. 1091-1152, 10 plates, 3 figures, 1 map.

Imlay R. W., (1938): Studies of the Mexican geocyncline, *Geol. Soc. Am. Bull.* Vol. 49 p. 1651-1694, 7 plates, 6 figures.

Imlay, R. W., (1939): Upper Jurassic ammonites from Mexico. Geological Society of American Bulletin, v. 50, p. 1-78.

Keller, G. R., Shurbert, D. H. (1975): Crustal structure of the Texas Gulf Coast Plain. Geol. Soc. Am. Bull. 86, 807-810.

Marrett, R., Aranda García, M., (1988): "Structure and Kinematic development of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, México, in Wilson, J.L., Ward, W.C., and Marrett, R.A., Stratigraphy and structure of the Jurassic and Cretaceous platform and basin systems of the Sierra Madre Oriental. A field book and related papers: San Antonio, South Texas Geological Society, American Association of Petroleum Geologists, and SEPM Annual Meeting, p. 69-98.

McKee, J.W., Jones, N.W., Long, L.E. (1990): Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault. Central Coahuila, Mexico: Geol. Soc. Am. Bull. 102, 593-614.

Michalzik, D., (1988): Trias bis tiefste Unter-Kreide der nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko – Fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrandes. Inaugural-Dissertation TH Darmstadt: 247 p.

Mickus, K., Montana C., (1999): Crustal structure of northern Mexico revealed through the análisis of gravity data, in Bartolini C., Wilson J. L., y Lawton T. F., eds., Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 340, 357-371.

Muir, J. M., (1936): Geology of the Tampico Region, Mexico. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 280 p.

Ortiz-Ubilla y G. Tolson, (2004): Interpretación estructural de una sección sísmica en la región Arcabuz–Culebra de la Cuenca de Burgos, NE de México.

Padilla y Sánchez, R. J., (1982): Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, México. Tesis Doctoral, University of Texas, 217 p.

Padilla y Sánchez, R. J., (1985): Las Estructuras de la Curvatura de Monterrey, Estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luís Potosí: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 6, núm. 1. p. 1-20.

Palacios R. L., (2005): Procesado de Datos Sísmicos. Brigada Escuela de Geociencias 1, Instituto Politécnico Nacional.

Palafox-Rayón, (2000): Conceptos de procesado sísmico para interpretes y personal de adquisición de datos sísmicos.

PEMEX-Exploración y Producción, (1973): Informe Final del Pozo Benemérito No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1962): Informe Final del Pozo Carbajal No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1972): Informe Final del Pozo Carruaje No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1961): Informe Final del Pozo Cerralvo No. 1A.

PEMEX-Exploración y Producción, (1972): Informe Final del Pozo Fresnito No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1960): Informe Final del Pozo Herreras No. 1, 2 y 101.

PEMEX-Exploración y Producción, (1973): Informe Final del Pozo Margarita No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1957): Informe Final del Pozo Pesquerías No. 1 y 2.

PEMEX-Exploración y Producción, (1958): Informe Final del Pozo Ramones No. 1.

PEMEX-Exploración y Producción, (1982): Informe Final del Pozo Refinería No. 1

PEMEX-Exploración y Producción, (1956): Informe Final del Pozo Vapor No. 1

PEMEX-Exploración y Producción, Informes Geológicos, de Pozos y Geofísicos, varios: Archivos Técnicos de la Región Norte.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), (1998): Informe final del estudio del potencial remanente de la Cuenca de Burgos: Petróleos Mexicanos, reporte interno (inédito).

Pérez-Cruz, G.A., (1992): Geologic Evolution of the Burgos Basin, Northeastern Mexico: Houston, Texas, Rice University, tesis doctoral, 155 p.

Román-Ramos, J. R. y Holguín Quiñones, N. (2001): Subsistemas generadores de la Región Norte de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, A. C. Subsistemas Generadores de México. Volumen XLIX, Nums. 1-2, enero-diciembre, México. p. 68-84.

Rodríguez, S.E., (1969): Sedimentos del Oligoceno de la Cuenca de Burgos; aspecto regional, en Memoria del Seminario sobre Exploración Petrolera, Mesa Redonda No. 1, Problemas de Exploración de la Cuenca de Burgos: México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo, MR1(2).

Rueda, G. J., Zorrilla, O., Pliego Vidal, E., del Valle Reyes, A., Guerrero Muñoz, M., Minero, M., Uribe G., Rivero Torres, A. (1997): Los Anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: Cuarta Parte, Palinoestratigrafía, Petrología y Paleogeografía del Alogrupo Los San Pedros: Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol. 46, 43-86.

R.E. Sheriff y P. Geldart, (1995): Exploration seismology. Second edition. Cambridge University Press. 592 pp.

Tarango Ontiveros G., Eguiluz de Antuñano S. (2005): Libreto Guía Noreste de México Brigada Escuela de Geociencias 1, Instituto Politécnico Nacional.

Tardy, M., (1972): Sobre la Estratigrafía de la Sierra Madre Oriental en el Sector de Parras Coahuila: Distinción Entre las Series Coahuilense y Parrense. Boletín Sociedad Geológica Mexicana 3.3.2 (1972) 61-70.

Tardy, M., Ramírez, R.C., Patiño, A.M. (1976): El Frente de la Napa de Parras (Conjunto Cadena Alta, Altiplano Central), en el área de Aramberri, N. L., Sierra Madre Oriental, México. Rev. Inst. Geol. UNAM 2, 1-11.

Tardy, M., Longoria, J.F., Martínez-Reyes, J., Mitre, L.M., Patiño, M., Padilla y Sánchez, R. y Ramírez, C. (1976): Observaciones Generales sobre la Estructura de la Sierra Madre oriental: La Aloctonía del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón, Coahuila y San Luís Potosí, México: Revista Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México, v. 75, núm. 1. p. 1-11.

Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff and D.A. Keys, (1976): Applied Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge.

Twiss, R.J. y Moores, E.M., (1992): Structural Geology. New York, W.H. Freeman and Co., 532 p. (Capítulo 7).

Vail, P.R., Mitchum, R.M., Thompson III, Jr. S., Todd, R.G., Sangree, J.B., Widmier, J.M., Bubb, J.N. and Hatelid, W.G. (1977): Seismic Stratigraphy and Global Sea Level Changes, 11-part contribution to Stratigraphic Interpretation of Seismic Data, by C.E. Payton (ed.), AAPG Memoir, v. 26, p. 49-212.

Villegas C.C., (2005): Interpretación Sismológica. Brigada Escuela de Geociencias 1, Instituto Politécnico Nacional.

Winker, C.D., Buffler, R.T. (1988): Paleographic evolution of early deep-water Gulf of Mexico and margins, Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean). Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 72, 318-346.

Yzaguirre, S.L.A., (1969): Geología Regional de la Cuenca de Burgos, en Memoria del Seminario sobre Exploración Petrolera, Mesa Redonda No. 1, Problemas de

Exploración de la Cuenca de Burgos: México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo, MR1(1).

Yilmaz, O., (2001): Seismic data analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data. Volume I. Yilmaz, O., and Doherty, S. M. Editors. Investigations in geophysics No. 10. Society of Exploration Geophysicists, 1000 pp.

Wilson, J. (1990): Basement structural controls on Mesozoic carbonate facies in Northeastern Mexico a review. Actas 4. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., Linares N.L. p. 5-45.