

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 2D DE LOS CAMPOS TÍA JUANA Y LAGUNILLAS. COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Usta Rodríguez, Rosmari del Valle.

Caracas, Octubre 2002.

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 2D DE LOS CAMPOS TÍA JUANA Y LAGUNILLAS. COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Luis Perdomo  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Félix Díaz

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Usta Rodríguez, Rosmari del Valle.

Caracas, Octubre 2002.

Usta R., Rosmari del V.

## **INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 2D DE LOS CAMPOS TÍA JUANA Y LAGUNILLAS, COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA.**

**Tutor Académico: Prof. José L. Perdomo. Tutor Industrial: Ing. Félix Díaz. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2002, 235 p.**

**Palabras claves:** Campos Tía Juana y Lagunillas, Interpretación sísmica 2D, Resolución Vertical, Mioceno.

**Resumen.** En el presente trabajo se realizó la interpretación estructural de la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno en los campos Tía Juana y Lagunillas, ubicada en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo estado Zulia, perteneciente a la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado, a partir de líneas sísmicas 2D, con la finalidad de definir el marco estructural integrado de ambos campos. La metodología llevada a cabo, incluyó la interpretación de cuatro horizontes geológicos de interés: tope del Miembro Lagunillas Inferior, tope del Miembro Laguna, tope del Miembro Bachaquero y la discordancia del Eoceno. Con ellos y la ayuda de las bases de datos disponibles se elaboraron mapas estructurales finales. En la metodología que se utilizó, se permitió hacer el cálculo de la resolución de los datos sísmicos del levantamiento bidimensional de los campos Tía Juana y Lagunillas, permitiendo detectar espesores mayores a 79 pies.

El estudio arroja como resultado la presencia de un homoclinal, muy fallado, con rumbo NNO-SSE y buzamiento de 3° a 5° al OSO. Las formaciones más antiguas del campo Costanero Bolívar están intensamente plegadas y falladas, estas fallas se extienden y cortan los sedimentos Oligo–Mioceno, como es el caso de la gran falla Pueblo Viejo, falla inversa de gran dimensión, esta falla se considera como una falla inversa sinistral de dirección NE-SO, las cuales se asocian según la dirección de esfuerzos y tipo de fallas a un régimen tectónico compresivo durante el Eoceno. A su vez se establece, un sistema de 35 fallas normales con rumbo promedio NNO-SSE y NO-SE producto de un régimen extensivo, paralelas al rumbo del homoclinal y casi perpendicular a la falla (Alto Pueblo Viejo) de alto buzamiento. Los saltos verticales de las fallas promedian en la parte norte del área, aproximadamente, entre 50 y 100 pies, todas estas fallas se extienden hasta la gran falla inversa, correspondiente a un salto vertical de falla entre 1000 y

2000 pies aproximadamente. Esta interpretación, permitió también resaltar la continuidad de las fallas presentes en los campos Lagunillas y Tía Juana, obteniendo de esta manera un gran aporte al marco estructural existente.

Finalmente integrando la interpretación estructural se proponen dos localizaciones. La primera correspondiente a un cierre estructural limitada por fallas normales en bloque deprimido ubicada en la línea LBV-95C-07 y la segunda obtenida del análisis de eventos estratigráficos (valles incisos) la cual se ubica en la línea LBV-95C-04. Ambas localizaciones se proponen a nivel de Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas.

## DEDICATORIA

A *Dios*, fuente de todo lo creado y centro de mi mundo pequeño pero lleno de infinito amor y de esperanza.

Para quien, al darme el soplo de la vida, me llevó a compartir su grandeza, su amor y su generosa realización en mí. Para quienes supieron animar, dirigir y perfeccionar ese soplo infinito de Dios que me llevó, con el esfuerzo y comprensión de los mejores seres humanos que para mí existen..... *Papá y Mamá*.

Rosmari del Valle Usta Rodríguez.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, raíz y fruto del mejor pensamiento formador del mañana.

Al cuerpo docente del Departamento de Geofísica, Escuela de Geología, Minas y Geofísica de mi casa de estudio, por transmitir todos sus conocimientos para lograr este paso de mi carrera profesional.

Y al reconocermela sincera y fiel, deseosa de vivir a plenitud mi vida, dueña de una personalidad y de un destino proclamo a mi familia (Miguel, Rosario, Jorge y Jennifer), como el mayor tesoro de todo lo que alguna vez soñé...

A ti Papi, por darme esa fortaleza que tanto te caracteriza, para no derribarme y que siempre hay que luchar, demostrando siempre ser mejor, gracias mi corazón valiente...

A ti Mami, por tu dulzura, comprensión, dedicación, por tus siempre consejos, por tu buena voluntad de guiarme siempre por el buen camino, gracias mi vida...

A mis adorables hermanos Jorge y Jennifer, mi punto de unión con la emoción de ser una familia, que nacida del amor de nuestros padres, hemos formado, pese a todas las dificultades, una sinergia de amor, trabajo, diversiones, aventuras y pleitos (en el mejor sentido de la palabra). Hoy al coronar mi esfuerzo de formación profesional tomo en mis manos las tuyas, las aprieto mucho, les doy a cada uno un beso y en mi mente y corazón se escribe un muy profundo y permanente *“Los querré siempre”*.

Mis palabras tienen que acercarse en toda su fuerza y alegría a los que son como mis segundos padres:

A mis tíos muy especiales, Vita e Ivan porque siempre me brindaron su apoyo, dándome sus mejores consejos, comprensión, y porque siempre estuvieron allí, acompañándome y que se que me seguirán acompañando en toda mi vida. Que Dios los bendiga.

Y a mis adorables tíos Cesar y Rosario, cuya significación en mi vida es esencial: Todo lo que quisiera decirles se resume en saber, que en todo tiempo, a todo evento, contra todo obstáculo, sus energía, amor y constancia me enseñaron que el camino es hermoso y que a pesar de todo, el amor prevalece, anima e impulsa la vida. Gracias y que la misma emoción se conserve para siempre entre ustedes y yo.

A ti Rafa, mereces el eterno e infinito agradecimiento por tu apoyo incondicional, maravilloso y especial durante mis últimos pasos para ser una profesional, y que a quien, sólo la palabra amor, en todos sus sentidos y profundidad podría yo feliz y agradecida decirte.

A un ángel especial y maravilloso, Alicia, quien siempre tuvo sus pensamientos y energías en mí, aún cuando me encontraba lejos, estuviste allí apoyándome y dándome tus mejores consejos, mi eterno agradecimiento.

A una inmensa y adorable amiga, casi hermana María Carolina (Carol), por darme no sólo tu amistad, sino también tu colaboración y paciencia, y lograr extenderme tus manos en los momentos más difíciles, guiándome, apoyándome, orientándome, gracias y mil gracias.

A una lucecita, que llegó a la casa con el nombre de Jorge David, porque me dio esa fuerza, para terminar lo más pronto este trabajo y poder disfrutar de ti, sobrino... que Dios te Bendiga. A Rosa, que no sólo por traer al mundo esa belleza, mereces mi agradecimiento, porque siempre he contado con tu apoyo y colaboración.

También quiero agradecer a:

A PDVSA E&P por darme la oportunidad, de culminar mi trabajo especial de grado.

A mi Tutor Académico Ing. José Luis Perdomo, cuya paciencia y sabiduría me enseñó el valor exacto de un consejo y una advertencia a tiempo.

A mi Tutor Industrial Ing. Félix Díaz, cuyo sentido de la amistad y solidaridad me enseñó además de sus conocimientos que el ser amigo es una virtud de Dios, indispensable para que los hombres crezcamos y podamos ser parte de su obra....

Al Ing. Pedro León por su apoyo, comprensión y colaboración durante la culminación de mi trabajo.

A la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado, cuyo esfuerzo diario forma parte del inmenso mundo de la industria petrolera, que me permitió compartir con ellos, horas de trabajo, estudios, dificultades y éxitos; con mi palabra de eterno agradecimiento.

Al Ing. Rafael Sanguinetti, quien en mi experiencia formadora de la Unidad, siempre me brindó desinteresadamente su valioso apoyo y solidaridad en momentos verdaderamente importante en mi trabajo especial de grado.

A dos lindas personas Ing. Rina Dugarte e Ivonne Delgado porque siempre estuvieron allí durante mi labor, para darme fuerza y entusiasmo.

Al Ing. Aldrin Rondón y Camilo Aloisi por brindarme su apoyo, amistad y compañerismo, muchas gracias.

A la Ing. Alejandra Peña, porque no sólo me distes tu amistad sino que también por brindarme ese apoyo técnico fundamental e incondicional que necesite para poder culminar mi trabajo.

A Gustavo Montenegro, por brindarme tu apoyo en el soporte técnico para la realización de este trabajo.

A Jesús Salazar (Chicho) por brindarme tu amistad y ayuda cuando más lo necesitaba.

A mis compañeros: Carlos Espinoza ( por tu paciencia, dedicación, amistad y que me enseñaste a que siempre hay que ser mejor), Juan Sandia (por tu humor, comprensión, amistad y decisión), Lisely Omaña (por tu colaboración, amistad y por ser tan especial) , Rómulo Guedez (por tu colaboración, apoyo y amistad), Carlos Vargas ( por tu amistad y tus maravillosos y especiales consejos, en el momento en que mas lo necesitaba), Luis Villareal ( por enseñarme que hay que luchar para ganar) y a todos mis compañeros quienes estuvieron conmigo y me permitieron estar donde estoy, en nuestra lucha como estudiantes.

Y a todos, a todos los que me acompañaron en este camino que culmino con éxito.....

Muchas gracias

## INDICE GENERAL

<b>Resumen</b>	<b>i</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>iv</b>

### *CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN*

<b>1.1 Generalidades.</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos.</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Objetivos generales.</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Ubicación del área de estudio.</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Antecedentes Históricos.</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Trabajos previos del área de estudio.</b>	<b>11</b>
<b>1.6 Programas utilizados para la interpretación sísmica.</b>	<b>14</b>
<b>1.7 Metodología de trabajo.</b>	<b>16</b>

### *CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO.*

<b>2.1 Evolución Estructural.</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Evolución Tectónica y Estructural del Occidente de Venezuela.</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1.1 Jurásico – Cretáceo Temprano.</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1.2 Cretáceo – Paleoceno.</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1.3 Paleoceno – Eoceno.</b>	<b>22</b>
<b>2.1.1.4 Oligoceno – Mioceno.</b>	<b>24</b>
<b>2.1.1.5 Mioceno Tardío – Holoceno.</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2 Marco Estructural de los campos Tía Juana y Lagunillas.</b>	<b>27</b>
<b>2.1.2.1 Problemática de los campos Tía Juana y Lagunillas.</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Evolución Estratigráfica.</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1 Estratigrafía del Occidente de Venezuela.</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2 Estratigrafía de los campos Tía Juana y Lagunillas.</b>	<b>35</b>

2.2.2.1 Formaciones del Mioceno.	38
2.2.2.1.1 Formación La Rosa.	38
2.2.2.1.2 Formación Lagunillas.	39
2.2.2.1.3 Formación La Puerta.	41

### ***CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN***

3.1 Génesis, Migración y Entrampamiento del hidrocarburo en la Cuenca del Lago de Maracaibo.	43
3.2 Propiedades físicas de los yacimientos del Campo Lagunillas.	44
3.2.1 Parámetros petrofísico del Campo Lagunillas.	44
3.2.2 Clasificación de los yacimientos por proyectos, Poes y Reservas.	45
3.2.3 Comportamiento de producción del Campo Lagunillas.	49
3.3 Propiedades físicas de los yacimientos del Campo Tía Juana.	50
3.3.1 Parámetros petrofísico del Campo Tía Juana.	50
3.3.2 Clasificación de los yacimientos por proyectos, Poes y Reservas.	50
3.3.3 Comportamiento de producción del Campo Tía Juana.	52

### ***CAPÍTULO 4.- VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE DATOS SÍSMICOS Y DE POZOS.***

4.1 Adquisición y Procesamiento de los datos sísmicos	54
4.1.1 Levantamiento sísmico de los campos Tía Juana y Lagunillas.	55
4.1.1.1 Adquisición del levantamiento sísmico 2D, LBV y CPB (95).	55
4.1.1.2 Procesamiento del levantamiento sísmico 2D, LBV y CPB (95)	61
4.1.1.3 Adquisición del levantamiento sísmico 2D, ZO (91).	69
4.1.1.4 Procesamiento del levantamiento sísmico 2D, ZO (91).	71
4.1.2 Levantamiento sísmico 3D de las áreas periféricas del Campo Tía Juana.	75
4.1.2.1 Adquisición del levantamiento sísmico 3D, APTJN APTJNE	75

<b>4.2 Registros o Perfiles de pozos.</b>	<b>82</b>
<b>4.3 Sísmica de pozos.</b>	<b>83</b>
<b>4.3.1 Tiros de verificación sísmica (Checkshots).</b>	<b>85</b>
<b>4.3.2 Generación de mapas de velocidades para los topes de interés.</b>	<b>91</b>
<b>4.4 Resolución sísmica vertical de los datos sísmicos.</b>	<b>98</b>
<b>4.5 Calibración de la información sísmica</b>	<b>102</b>
<b>4.5.1 Elaboración de sismogramas sintéticos.</b>	<b>102</b>

## ***CAPÍTULO 5. INTERPRETACIÓN DE DATOS SÍSMICOS***

<b>5.1 Interpretación Estructural</b>	<b>114</b>
<b>5.1.1 Interpretación de horizontes.</b>	<b>116</b>
<b>5.1.2 Interpretación de fallas principales.</b>	<b>124</b>
<b>5.1.3 Sección Estructural.</b>	<b>130</b>
<b>5.1.4 Mapas estructurales en tiempo.</b>	<b>132</b>
<b>5.1.5 Secciones Horizontalizadas.</b>	<b>137</b>
<b>5.1.6 Atributos sísmicos estructurales.</b>	<b>140</b>
<b>5.1.7 Conversión tiempo -profundidad.</b>	<b>160</b>
<b>5.1.8 Representación de horizontes y polígonos profundidad.</b>	<b>164</b>
<b>5.1.9 Edición y generación de los mapas estructurales en profundidad.</b>	<b>167</b>
<b>5.2 Interpretación de eventos estratigráficos.</b>	<b>168</b>
<b>5.2.1 Identificación de valles incisos.</b>	<b>169</b>

## ***CAPITULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.***

<b>6.1 Análisis de los mapas estructurales en profundidad.</b>	<b>174</b>
<b>6.1.1 Mapa estructural en profundidad al tope de la discordancia del Eoceno</b>	<b>174</b>
<b>6.1.2 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior.</b>	<b>178</b>
<b>6.1.3 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Laguna</b>	<b>181</b>
<b>6.1.4 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>184</b>

<b>6.2 Descripción y Comparación entre mapas estructurales oficiales y mapas estructurales obtenidos de la interpretación sísmica al tope del Miembro Lagunillas Inferior de los campos Tía Juana y Lagunilla.</b>	<b>187</b>
<b>6.2.1 Descripción mapa estructural oficial del campo Lagunillas al tope del Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>188</b>
<b>6.2.2 Descripción mapa estructural del campo Lagunillas al tope del Miembro Lagunillas Inferior obtenido de información sísmica</b>	<b>190</b>
<b>6.2.3 Comparación entre mapa oficial del campo Lagunillas y el mapa estructural de información sísmica.</b>	<b>192</b>
<b>6.2.4 Descripción mapa estructural del oficial del campo Tía Juana al tope del Miembro Lagunillas Inferior.</b>	<b>194</b>
<b>6.2.5 Descripción mapa estructural del campo Tía Juana al tope del Miembro Lagunillas Inferior obtenido a partir de información sísmica.</b>	<b>196</b>
<b>6.2.6 Comparación entre mapa oficial del campo Tía Juana y el mapa estructural de información sísmica.</b>	<b>198</b>
<b>6.3 Generación de mapas</b>	<b>200</b>
<b>6.4 Oportunidad de perforación.</b>	<b>206</b>

## ***CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

<b>7.1 Conclusiones.</b>	<b>210</b>
<b>7.2 Recomendaciones.</b>	<b>212</b>

## ***CAPÍTULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

### ***APÉNDICE 1***

<b>1.1 Parámetros utilizados para la elaboración de las curvas tiempo profundidad</b>	<b>219</b>
---	------------

### ***APÉNDICE 2***

<b>2.1 Gráfico de velocidad intervállica y promedio correspondientes a los pozos con CheckShots</b>	<b>220</b>
---	------------

### ***APÉNDICE 3***

<b>3.1 Valores en profundidad obtenidos a partir de la función generada de velocidad correspondiente a la discordancia del Eoceno</b>	<b>221</b>
<b>3.2 Valores en profundidad obtenidos a partir de la función generada de velocidad correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>224</b>
<b>3.3 Valores en profundidad obtenidos a partir de la función generada de velocidad correspondiente al Miembro Laguna</b>	<b>227</b>
<b>3.4 Valores en profundidad obtenidos a partir de la función generada de velocidad correspondiente al Miembro Bachaquero</b>	<b>230</b>

### ***APÉNDICE 4***

<b>4.1 Lista de espesores para los mapas de arenas.</b>	<b>233</b>
---	------------

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	<b>Ubicación geográfica de los campos Tía Juana y Lagunillas. Costa Oriental del lago de Maracaibo, Edo.Zulia.</b>	<b>6</b>
<b>Figura 1.2</b>	<b>Ubicación geográfica de los levantamientos sísmicos 2D y 3D correspondiente a los campos Tía Juana y Lagunillas</b>	<b>7</b>
<b>Figura 1.3</b>	<b>Diagrama esquemático de las aplicaciones de LandMark™</b>	<b>14</b>
<b>Figura 1.4</b>	<b>Diagrama esquemático de las aplicaciones de Geoframe™</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2.1</b>	<b>Cuadro Estructural de la Cuenca del Lago de Maracaibo</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2.2</b>	<b>Jurásico - Cretácico Temprano.</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2.3</b>	<b>Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense – Campanéense</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2.4</b>	<b>Avances de las Napas de Lara.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.5</b>	<b>Configuración Tectónica en el Paleoceno – Eoceno</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.6</b>	<b>Distribución de las rocas durante el Oligoceno – Mioceno en Venezuela.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.7</b>	<b>Sección de la Cuenca de Maracaibo</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.8</b>	<b>Mapa Estructural del Distrito Costanero Bolívar</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.9</b>	<b>Sección Estructural de Costa Bolívar.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2.10</b>	<b>Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Lago de Maracaibo</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2.11</b>	<b>Columna Estratigráfica generalizada del área de estudio</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.12</b>	<b>Registro tipo del área de estudio, representado por el pozo LS-5169</b>	<b>36</b>
<b>Figura 2.13</b>	<b>Ambientes Interpretados en las Unidades Sedimentarias.</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.1</b>	<b>Ubicación de los proyectos térmicos del yacimiento Lagunillas Superior</b>	<b>46</b>
<b>Figura 3.2</b>	<b>Ubicación de los proyectos térmicos en el yacimiento Laguna</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3.3</b>	<b>Comportamiento de Producción del campo Lagunillas</b>	<b>49</b>
<b>Figura 3.4</b>	<b>Comportamiento de Producción del campo Tía Juana</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.1</b>	<b>Líneas sísmicas correspondiente al levantamiento 2D del proyecto Lagunillas-Bachaquero(LBV), Cabimas-Pueblo Viejo (CPB) grabadas en 1995.</b>	<b>56</b>

<b>Figura 4.2</b>	<b>Arreglo de Fuente, tipo explosivo del Levantamiento sísmicos 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4.3</b>	<b>Arreglo de Fuente, Puntos de Vibración utilizados en el levantamiento sísmico 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.4</b>	<b>Esquema del Punto de Vibración de las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.5</b>	<b>Arreglo de Fuente, tipo explosivo de las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.6</b>	<b>Sección sísmica LBV-95C-06, muestra la calidad buena a regular de los datos sísmicos a niveles someros y pobre a niveles profundos</b>	<b>61</b>
<b>Figura 4.7</b>	<b>Ubicación de las áreas periféricas del campo Tía Juana.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.8</b>	<b>Geometría del Patch de la sísmica 3D del campo Tía Juana</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4.9</b>	<b>Disposición de geófonos en el Campo Tía Juana, proyecto 3D</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4.10</b>	<b>Esquematzación de la adquisición de tiros de verificación (CheckShots)</b>	<b>84</b>
<b>Figura 4.11</b>	<b>Ubicación de los pozos con tiros de verificación (CheckShots)</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.12</b>	<b>Curvas Tiempo – Profundidad (TZ) para los pozos LS 5117, LS 5169, LS 5123 y SLS 0007</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4.13</b>	<b>Curvas Tiempo – Profundidad (TZ) para los pozos LSE 1838A, LSE 4552, LSJ 2235</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.14</b>	<b>Gráfico de curvas de velocidades de los campos Tía Juana y Lagunillas</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.15</b>	<b>Representación de mapas de velocidad promedio para cada horizonte</b>	<b>96</b>
<b>Figura 4.16</b>	<b>Representación de mapas de velocidad interválica</b>	<b>97</b>
<b>Figura 4.17</b>	<b>Espectro de amplitud correspondiente al pozo LS 5117</b>	<b>99</b>
<b>Figura 4.18</b>	<b>Espectro de amplitud correspondiente al pozo LSE 4552</b>	<b>99</b>
<b>Figura 4.19</b>	<b>Crossplot entre registro sísmico y rayos gamma en el pozo LS-5117</b>	<b>106</b>
<b>Figura 4.20</b>	<b>Crossplot entre registro densidad y rayos gamma en el pozo LS-5117</b>	<b>106</b>
<b>Figura 4.21</b>	<b>Crossplot entre registro sísmico y rayos gamma en el pozo LS-5121</b>	<b>107</b>
<b>Figura 4.22</b>	<b>Crossplot entre registro densidad y rayos gamma en el pozo LS-5121</b>	<b>107</b>
<b>Figura 4.23</b>	<b>Crossplot entre registro sísmico y rayos gamma en el pozo LS-5169</b>	<b>108</b>
<b>Figura 4.24</b>	<b>Crossplot entre registro densidad y rayos gamma en el pozo LS-5169</b>	<b>108</b>
<b>Figura 4.25</b>	<b>Crossplot entre registro sísmico y rayos gamma en el pozo SLS-0007</b>	<b>109</b>

<b>Figura 4.26</b>	<b>Crossplot entre registro densidad y rayos gamma en el pozo SLS-0007</b>	<b>109</b>
<b>Figura 4.27</b>	<b>Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo LS-2203</b>	<b>110</b>
<b>Figura 4.28</b>	<b>Crossplot entre registro densidad y rayos gamma en el pozo LS-2203</b>	<b>110</b>
<b>Figura 4.29</b>	<b>Sismograma sintético correspondiente al pozo LS 5117</b>	<b>112</b>
<b>Figura 4.30</b>	<b>Sismograma sintético desplegado en la línea sísmica LBV-95C-07 con dirección NO-SE.</b>	<b>113</b>
<b>Figura 5.1</b>	<b>Mapa de ubicación del área de interés de la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado</b>	<b>117</b>
<b>Figura 5.2</b>	<b>Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente a la discordancia del Eoceno.</b>	<b>118</b>
<b>Figura 5.3</b>	<b>Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior.</b>	<b>119</b>
<b>Figura 5.4</b>	<b>Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al Miembro Laguna</b>	<b>120</b>
<b>Figura 5.5</b>	<b>Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al Miembro Bachaquero</b>	<b>121</b>
<b>Figura 5.6</b>	<b>Sección sísmica NO-SE correspondiente a la línea LBV-95C-07</b>	<b>122</b>
<b>Figura 5.7</b>	<b>Sección sísmica SO-NE correspondiente a la línea LBV-95C-10M Y LBV-95C-10, mostrando horizontes interpretados en el área.</b>	<b>123</b>
<b>Figura 5.8</b>	<b>Sección sísmica correspondientes a las líneas LBV-95C-06; LBV-95C-08; LBV-95C-10 Y LBV-95C-12, todas con dirección SO-NE</b>	<b>125</b>
<b>Figura 5.9</b>	<b>Empalme de las fallas mostrando entre ellas continuidad</b>	<b>126</b>
<b>Figura 5.10</b>	<b>Mapa del atributo sísmico “Edge Detection” de la Discordancia del Eoceno para la interpretación de fallas.</b>	<b>127</b>
<b>Figura 5.11</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-16M Y LBV-95C-16. Dirección SO-NE.</b>	<b>128</b>
<b>Figura 5.12</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-07. Dirección NO-SE. Interpretación de fallas</b>	<b>128</b>
<b>Figura 5.13</b>	<b>Visualización del modelo estructural, fallas correspondientes a la discordancia del Eoceno.</b>	<b>129</b>
<b>Figura 5.14</b>	<b>Sección Estructural en dirección SE-NW</b>	<b>131</b>
<b>Figura 5.15</b>	<b>Mapa en tiempo para la discordancia del Eoceno</b>	<b>133</b>
<b>Figura 5.16</b>	<b>Mapa en tiempo para el tope del miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>134</b>
<b>Figura 5.17</b>	<b>Mapa en tiempo para el tope del miembro Laguna</b>	<b>135</b>

<b>Figura 5.18</b>	<b>Mapa en tiempo para el tope del miembro Bachaquero</b>	<b>136</b>
<b>Figura 5.19</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-06M y 06 de dirección SO-NE interpretada.</b>	<b>138</b>
<b>Figura 5.20</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-06M y 06 con el tope del Miembro Lagunillas Inferior horizontalizada</b>	<b>138</b>
<b>Figura 5.21</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-11 de dirección NW-SE interpretada.</b>	<b>139</b>
<b>Figura 5.22</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-11 de dirección NO-SE interpretada. Miembro Bachaquero horizontalizada</b>	<b>139</b>
<b>Figura 5.23</b>	<b>Representación de la traza sísmica compleja</b>	<b>142</b>
<b>Figura 5.24</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), línea sísmica LBV-95C07</b>	<b>145</b>
<b>Figura 5.25</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica imaginaria (traza cuadratura), línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>146</b>
<b>Figura 5.26</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), línea sísmica LBV-95C07</b>	<b>148</b>
<b>Figura 5.27</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica aplicado el atributo intensidad de reflexión, línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>149</b>
<b>Figura 5.28</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), tomado de la línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>151</b>
<b>Figura 5.29</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica aplicando el atributo fase instantánea, línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>152</b>
<b>Figura 5.30</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica original, línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>154</b>
<b>Figura 5.31</b>	<b>Ejemplo de la traza sísmica original aplicando el atributo de frecuencia instantánea, línea sísmica LBV-95C-07</b>	<b>155</b>
<b>Figura 5.32</b>	<b>Aplicación del atributo Edge en un volumen sísmico de datos sísmicos 3D</b>	<b>157</b>
<b>Figura 5.33</b>	<b>Representación de fallas a partir del atributo Edge</b>	<b>158</b>
<b>Figura 5.34</b>	<b>Escala de color para el atributo Edge</b>	<b>159</b>
<b>Figura 5.35</b>	<b>Curva Tiempo – Profundidad para la conversión de la discordancia del Eoceno.</b>	<b>162</b>
<b>Figura 5.36</b>	<b>Curva Tiempo – Profundidad para la conversión del Miembro Lagunillas Inferior.</b>	<b>162</b>
<b>Figura 5.37</b>	<b>Curva Tiempo – Profundidad para la conversión del Miembro Laguna</b>	<b>163</b>

<b>Figura 5.38</b>	<b>Curva Tiempo – Profundidad para la conversión del Miembro Bachaquero</b>	<b>163</b>
<b>Figura 5.39</b>	<b>Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>164</b>
<b>Figura 5.40</b>	<b>Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Laguna</b>	<b>165</b>
<b>Figura 5.41</b>	<b>Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>165</b>
<b>Figura 5.42</b>	<b>Modelo estructural con fallas en profundidad en la discordancia del Eoceno.</b>	<b>166</b>
<b>Figura 5.43</b>	<b>Modelo de secuencia sísmica, correspondiente a la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno</b>	<b>168</b>
<b>Figura 5.44</b>	<b>Línea sísmica LBV-95C-04M y 04, dirección SW-NE. Muestra Valle Inciso interpretado</b>	<b>170</b>
<b>Figura 5.45</b>	<b>Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D, se muestra la ubicación de la interpretación de la geometría de los valles incisos</b>	<b>171</b>
<b>Figura 5.46</b>	<b>Representación de las sección sísmicas correspondiente al campo Tía Juana, en representación de valles incisos.</b>	<b>172</b>
<b>Figura 5.47</b>	<b>Representación de zonas de canales en el campo Tía Juana del Miembro Lagunillas Inferior en base a pozos.</b>	<b>173</b>
<b>Figura 6.1</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para la discordancia del Eoceno</b>	<b>176</b>
<b>Figura 6.2</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para la discordancia del Eoceno, resaltando espesores</b>	<b>177</b>
<b>Figura 6.3</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>179</b>
<b>Figura 6.4</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Lagunillas Inferior, resaltando espesores.</b>	<b>180</b>
<b>Figura 6.5</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Laguna</b>	<b>182</b>
<b>Figura 6.6</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Laguna, resaltando espesores</b>	<b>183</b>
<b>Figura 6.7</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>185</b>

<b>Figura 6.8</b>	<b>Mapa Estructural en profundidad para el tope del Miembro Bachaquero, resaltando espesores.</b>	<b>186</b>
<b>Figura 6.9</b>	<b>Mapa Estructural Oficial del Campo Lagunillas al tope del Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>189</b>
<b>Figura 6.10</b>	<b>Mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica, del campo Lagunillas, tope Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>191</b>
<b>Figura 6.11</b>	<b>Comparación del mapa Oficial y mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica, al tope del Miembro Lagunillas Inferior, Campo Lagunillas</b>	<b>193</b>
<b>Figura 6.12</b>	<b>Mapa Estructural Oficial del campo Tía Juana, tope Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>195</b>
<b>Figura 6.13</b>	<b>Mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica, del campo Tía Juana, tope Miembro Lagunillas Inferior</b>	<b>197</b>
<b>Figura 6.14</b>	<b>Comparación del mapa Oficial y mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica, al tope del Miembro Lagunillas Inferior, Campo Tía Juana.</b>	<b>199</b>
<b>Figura 6.15</b>	<b>Mapa de espesor total entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>202</b>
<b>Figura 6.16</b>	<b>Mapa de arena neta entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>203</b>
<b>Figura 6.17</b>	<b>Mapa de arena neta total entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>204</b>
<b>Figura 6.18</b>	<b>Mapa de arena neta petrolífera entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero</b>	<b>205</b>
<b>Figura 6.19</b>	<b>Zona probable obtenida a partir de interpretación estructural</b>	<b>207</b>
<b>Figura 6.20</b>	<b>Representación de posible geometría de valles excavados, en la línea LBV-95C-04, de dirección SO-NE para la ubicación de posible localización</b>	<b>207</b>
<b>Figura 6.21</b>	<b>Ubicación de las posibles localizaciones</b>	<b>208</b>
<b>Figura 6.22</b>	<b>Representación de espesores de arena neta petrolífera, para las zonas propuestas</b>	<b>209</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	<b>Ubicación y direcciones de las líneas sísmicas del levantamiento 2D</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 1.2</b>	<b>Coordenadas de los vértices del área cubierta por el proyecto sísmico 3D</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 3.1</b>	<b>Propiedades físicas de los yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior del campo Lagunillas</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3.2</b>	<b>Reservas Oficiales del Campo Lagunillas</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3.3</b>	<b>Características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y las tasa actuales tomadas para finales de diciembre del 2001del Campo Lagunillas</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 3.4</b>	<b>Propiedades físicas del yacimiento Lagunillas Inferior del Campo Tía Juana</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 3.5</b>	<b>Características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y las tasa actuales tomadas para finales de diciembre del 2001del Campo Tía Juana.</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 3.6</b>	<b>Reservas oficiales del Campo Tía Juana</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4.1</b>	<b>Parámetros de grabación con fuente explosiva del Levantamiento sísmico 2D de los campos Tía Juana y Lagunillas.</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 4.2</b>	<b>Parámetros de grabación con fuente vibratoria del Levantamiento sísmico 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 4.3</b>	<b>Parámetros del tendido utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 4.4</b>	<b>Parámetros de los receptores utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 4.5</b>	<b>Parámetros del instrumento utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los Campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 4.6</b>	<b>Parámetros de grabación con fuente explosiva de las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 4.7</b>	<b>Parámetros del instrumento con fuente explosiva de las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 4.8</b>	<b>Parámetros de receptores y tendidos utilizadas en las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana</b>	<b>70</b>

<b>Tabla 4.9</b>	<b>Parámetros de perforación de las áreas periféricas del campo Tía Juana, proyecto 3D</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 4.10</b>	<b>Parámetros de grabación obtenidos de la sísmica del 3D del Campo Tía Juana</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 4.11</b>	<b>Parámetros de Grabación, del levantamiento sísmico 3D del Campo Tía Juana</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 4.12</b>	<b>Secuencia básica del procesamiento de campo en el levantamiento 3D del campo Tía Juana.</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 4.13</b>	<b>Parámetros de Procesamiento, del levantamiento sísmico 3D del Campo Tía Juana</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 4.14</b>	<b>Parámetros de adquisición de los tiros de verificación</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 4.15</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LS 5117.</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 4.16</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LS 5169.</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 4.17</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo SLS0007.</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 4.18</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LSJ 2235.</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 4.19</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LSE 4552.</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 4.20</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LSE 1838A.</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 4.21</b>	<b>Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LS 5123.</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 4.22</b>	<b>Resumen de parámetros para el cálculo de la resolución vertical</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 4.23</b>	<b>Inventario de pozos con registro sísmico y densidad para los sismogramas sintéticos.</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 4.24</b>	<b>Parámetros obtenidos en la generación de los sismogramas sintéticos</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 5.1</b>	<b>Valores aplicados para el ajuste de los niveles de referencias de cada una de las secciones sísmicas 2D</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 5.2</b>	<b>Horizontes interpretados para definir marco estructural</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 5.3</b>	<b>Funciones matemáticas obtenidas para la conversión tiempo profundidad</b>	<b>160</b>

Colocar toda la atención en un determinada área geográfica, me llevó a la observación de una obra de la naturaleza que, transformada por la acción de hombre y por la explotación de sus recursos, debe llevar a un modo de contribuir a una vida mejor, lleva a admirarla, a sentirse solidario con las gentes que en ella vive, y a considerarla como parte de la gran expresión que es Venezuela.

A medida que hice el trabajo, me fui identificando con los esfuerzos de las gentes de la Costa Oriental del lago de Maracaibo (COL). Por eso este trabajo me ha llevado a querer mucho y a sentir que todo esfuerzo que se haga irá en beneficio de un mejor porvenir para todo.

# 1.- INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades

En el ámbito internacional, Venezuela ocupa el sexto lugar entre los países con mayor volumen de reservas probadas remanentes de petróleo y en producción anual de petróleo, el séptimo en cuanto a reservas probadas remanente en gas y de acuerdo a cifras señaladas por el Ministerio de Energía y Minas, en el año de 1996 y recopiladas por Surencó en 1997, se establece que para finales de 1996, las reservas totales de hidrocarburos en Venezuela, eran más de 200.000 millones de barriles de petróleo y 242.000 MMMpc de gas que incluyen unos 30000 de gas no asociado.

La Cuenca del lago de Maracaibo es rica en recursos petroleros conocidos y ha sido explotada desde el año de 1914 cuando la Caribbean Petroleum Company perforó el pozo Zumaque-1 en Mene Grande, estado Zulia, originándose la producción a gran escala del petróleo en Venezuela.

El Campo Costanero Bolívar es considerado como la unidad de mayor extensión productora de toda la Cuenca del lago de Maracaibo y comprende los campos Bachaquero, Lagunillas y Tía Juana. Estos se han caracterizado por contener acumulaciones de crudo pesado entre 10° y 15° API, con un POES original de 37 MMBbl, donde la producción se encuentra asociada a procesos de recuperación térmica para disminuir su viscosidad y facilitar la extracción de fluidos desde el yacimiento ya que la viscosidad del crudo y la presión del Yacimiento, no permiten que los hidrocarburos contenidos en éste, fluyan de forma natural hasta la superficie.

El campo Tía Juana cuenta con una área de 39000 acres, alcanzando un POES de 11MMBN con una producción acumulada de 1906 MMBLS equivalente al 17.1% del POES desde 1950 hasta Diciembre del 2001 y 855.2 MMBLS de reservas remanentes que equivale al 8.1% del POES, con una tasa de producción actual de 64.2 MBBL/D. Entre los años de 1991 y 2001, el control de producción impuesto por mercado mantiene la producción del Campo Tía Juana en el orden de 80 Mbls. Actualmente la producción del Campo se ubica aproximadamente en 57 Mbls.

El campo Lagunillas cuenta con una área aproximadamente de 40000 acres, alcanzando un POES asociado es de 16MMBN de petróleo y ha producido aproximadamente 2248 MMBLS de petróleo desde 1925 hasta Diciembre del 2001. Las reservas remanentes se ubican en 993.1 MMBLS, con una tasa de producción actual de 99.7 MBBL/D

Debido a que el área se ha implementado un proceso de Inyección Alterna de Vapor (IAV) como método de explotación de los yacimientos de la Costa Bolívar el factor de recobro final está en el orden de 22%, esto significa que de no implementar alternativas de explotación se dejará de producir un volumen de crudo remanente en el orden de 29MMBbl, se hace necesario caracterizar los principales yacimientos de los campos Lagunillas Y Tía Juana y determinar con mas exactitud el patrón estructural.

El presente trabajo especial de grado aportará a la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado, una interpretación estructural regional de los campos Tía Juana y Lagunillas, lo cual permitirá identificar las estructuras principales, determinar el grado de compartamentalización que presentan los yacimientos y disminuir riesgos en el proceso de Inyección Alterna de Vapor (IAV).

La limitación de este trabajo, lo constituye el uso de sísmica 2D para la construcción del modelo estructural, ya que por la separación entre líneas, la definición de las fallas, es hasta cierto punto subjetiva.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo general*

- Definir el marco estructural de los campos Lagunillas y Tía Juana a partir de la interpretación de 643.5 Km de los levantamientos sísmicos 2D (LBV-95C, CPB-95C, ZO-91C) a nivel de la discordancia del Eoceno y de los miembros Bachaquero, Laguna, Lagunillas Inferior perteneciente a la Formación Lagunillas de edad Mioceno, y constituye el último requisito exigido por la Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Geofísico.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- Definir mediante el uso de sismogramas sintéticos los reflectores sísmicos correlacionables con la información sísmica de pozos para la discordancia del Eoceno, tope del Miembro Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero correspondiente al área de estudio.
- Interpretar los horizontes asociados a la discordancia del Eoceno, miembro Lagunillas Inferior, laguna y Miembro Bachaquero.
- Interpretar y correlacionar fallas existentes en el área.
- Aplicar atributos estructurales para determinar y validar fallas principales en el área de estudio y mostrar posibles patrones depositacionales.
- Generar mapas estructurales en tiempo.
- Generar mapas de velocidades intervállicas y average para los horizontes interpretados.
- Hacer conversión de mapas en tiempo a mapas en profundidad.
- Generar mapas estructurales en profundidad.
- Generar mapas isópacos de arena total y petrolífera para identificar posibles depocentros.
- Comparar mapa estructural oficial con mapa estructural obtenido de la interpretación
- Identificar áreas prospectivas para futuras perforaciones.

### 1.3 Ubicación del área de estudio

El campo Costanero Bolívar está situado en la costa este del lago de Maracaibo en el Estado Zulia. Se extiende paralelamente a la costa oriental del lago de Maracaibo, parcialmente en tierra y parcialmente en agua, con una longitud de 100 Km. El área de estudio esta delimitada al norte con el campo Cabimas, al sur con el Campo Bachaquero y al oeste con el lago de Maracaibo y comprende una extensión de 736 Km<sup>2</sup> , aproximadamente. El campo Lagunillas colinda al Norte con el Campo Tía Juana Tierra y al Sur con Bachaquero Tierra con un área total de 40278 acres / 16300 hectáreas) y el campo Tía Juana está ubicado al Oeste del Lago de Maracaibo y al Sur con el Campo Lagunillas, con un área total de 39537 acres (Fig. 1.1)

En las áreas, se han grabado dos levantamientos sísmicos 2D y un levantamiento sísmico 3D. La información sísmica 2D comprende los proyectos *Lagunillas – Bachaquero (LBV-95C)*, *Cabimas – Pueblo Viejo (CPB-95C)*, cubriendo una extensión de 643.5 Km. lineales (579,28 Km. en tierra y 64,22 Km. en agua), y el proyecto *Zulia – Oriental (ZO-91C)*, con una extensión de 1393,140 Km lineales. El levantamiento sísmico 3D corresponde a las áreas periféricas al Norte del Campo Tía Juana (APTJNE – APTJN) abarcando un área de 55 Km<sup>2</sup> .(Fig.1.2)

La ubicación de las líneas sísmicas y sus direcciones pertenecientes a los levantamientos 2D y la ubicación en coordenadas UTM de los vértices del área de estudio del levantamiento sísmico 3D, se presentan en la tabla 1.1 y 1.2 respectivamente.

<i>LÍNEAS SÍSMICAS</i>	<i>DIRECCIÓN DE LAS LÍNEAS</i>
LBV-95C-04 a la LBV-95C-20	N60E
LBV-95C-01 a la LBV-95C-11	N30W
CPB-95C-01	N20E
CPB-95C-02 a la CPB-95C-10	N70W
ZO-91C-03 a la ZO-91C-09	N20E
ZO-91C-26 a la ZO-91C-48	N70W

**TABLA 1.1 Ubicación y direcciones de las líneas sísmicas del levantamiento 2D**

<i>VERTICE</i>	<i>LATITUD</i>	<i>LONGITUD</i>
1	1.146.904	237.800
2	1.143.195	253.766
3	1.139.648	236.085
4	1.135.955	252.100

**TABLA 1.2 Coordenadas de los vértices del área cubierta por el proyecto sísmico 3D, campo Tía Juana**

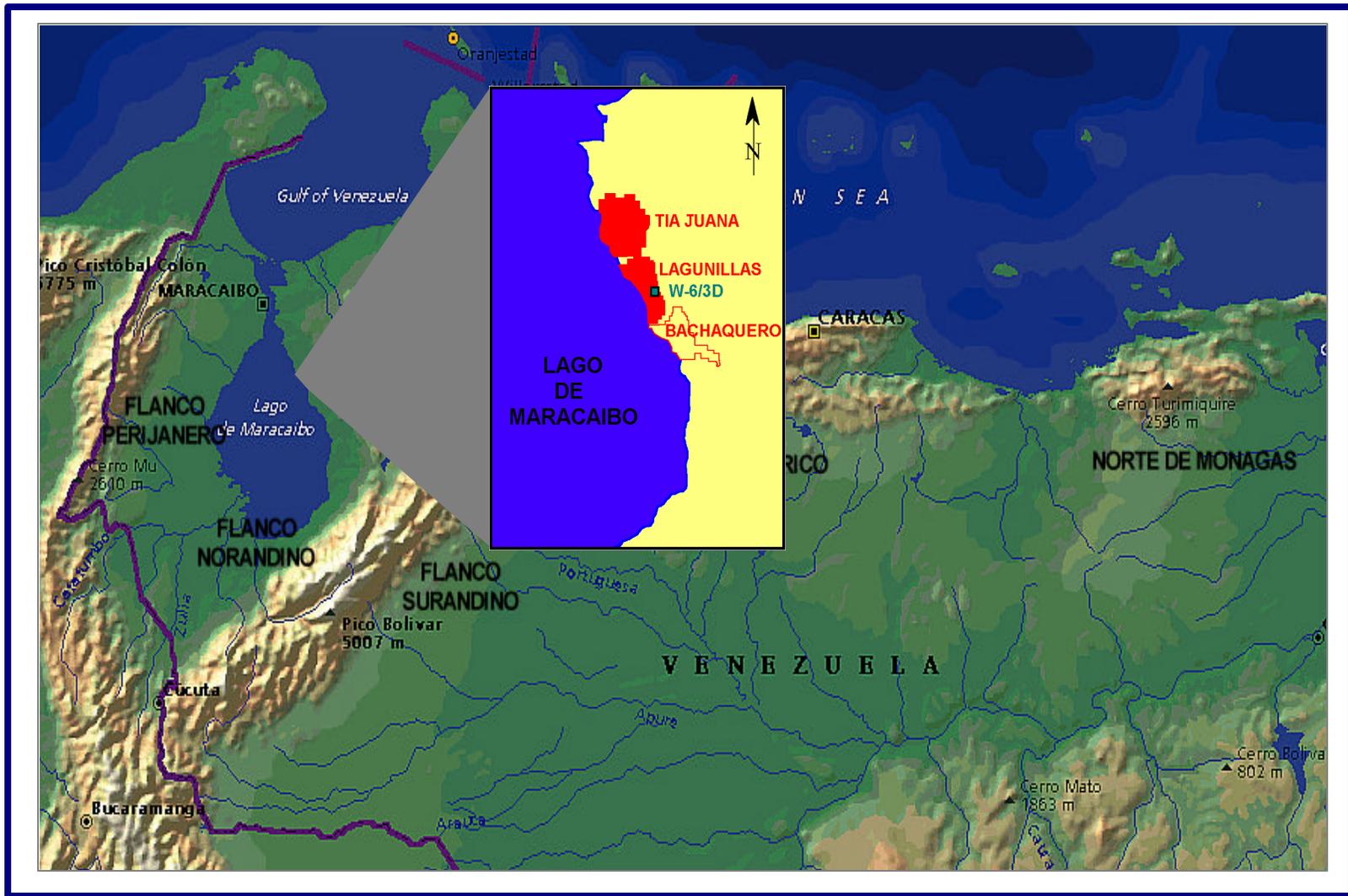


FIGURA 1.1 Ubicación geográfica de los campos Tía Juana y Lagunillas. Costa Oriental del lago de Maracaibo, Edo.Zulia.

## LEYENDA



Levantamiento sísmico 3D de las áreas periféricas al norte del campo Tía Juana (APTJNE-APTJN), adquirida en el período 1996-1997.



Línea de Costa



Levantamiento sísmico 2D (LBV-95C y CPB-95C), adquirida en el año 1995



Levantamiento sísmico 2D (ZO-91C), adquirida en el año 1991

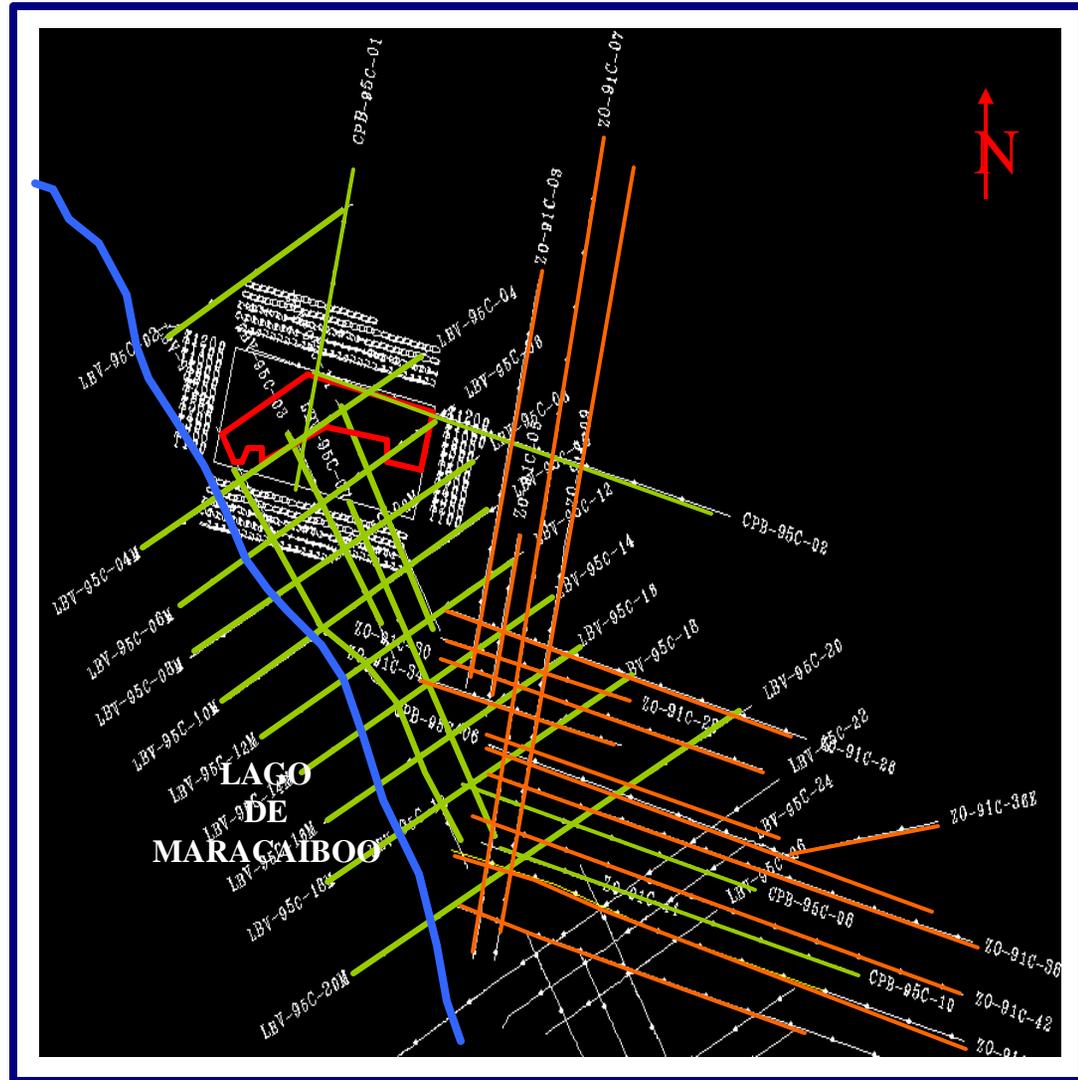


FIGURA 1.2 Ubicación geográfica de los levantamientos sísmicos 2D y 3D correspondiente a los campos Tía Juana y Lagunillas

## **1.4 Antecedentes Históricos**

La mayor extensión productora de toda la Cuenca del Lago de Maracaibo, considerada como una sola unidad, se denomina Campo Costanero Bolívar (L.E.V., 1997).

Durante las primeras fases del desarrollo, la perforación descubría acumulaciones muy separadas, y geográficamente se les asignaron los nombres de Ambrosio, La Rosa, Icotea, Cabimas, Punta Benítez, Tía Juana, Taparito, Lagunillas, Pueblo Viejo, Bachaquero. Las extensiones y el desarrollo de los campos indicaron que se trataba realmente de una sola área, denominada Campo Costanero Bolívar (Almarza, 1998).

En el Campo Costanero Bolívar, las actividades de perforación fueron iniciadas por Venezuelan Oil Concessions, Ltd., con el pozo Santa Bárbara N° 1 (R1) en 1913. El pozo Santa Bárbara N° 2 (R2) situado en el área de Punta Gorda, al sur de Cabimas, encontró la primera acumulación comercial, aunque la perforación de este pozo comenzó en 1913 no es terminado hasta el año 1917 como productor en la arenisca Santa Bárbara del Mioceno.

En el año 1914 cuando la Caribbean Petroleum Company comienza la perforación del pozo Zumaque\_1 en Mene Grande, estado Zulia, originándose la producción a gran escala del petróleo de Venezuela. En ese año se completo el pozo Zumaque\_1 descubridor comercial de la cuenca petrolífera del lago de Maracaibo.

Cinco años mas tarde (1922), el pozo Barroso 2 (R4) reventó sin control, arrojando 100.000 b/d de petróleo, lo cual estimuló al desarrollo en gran escala de esta enorme área petrolífera. Después del descubrimiento del campo La Rosa, nuevos pozos exploratorios encontraron acumulaciones Miocenas en Lagunillas (Lago-1, Gulf, 1926), Tía Juana (TJ-1, Lago, 1928) y Bachaquero (Lagunillas-1, Gulf, 1930); (Almarza, 1988).

En 1926, se termina el primer pozo comercial en Lagunillas. En Venezuela el petróleo pasó a ser el primer producto de exportación. En 1927, Venezuela pasa a ser el segundo productor de petróleo en el ámbito mundial.

En 1928 el campo Tía Juana fue descubierto a partir del pozo LSJ-298. Desde entonces y hasta el año 1959 el campo produjo en frío, perforándose 900 pozos y acumulando una producción de 480 MMBLS. Desde 1957 hasta el año 1962 se llevaron a cabo pruebas piloto tecnológico de recuperación térmica en el campo, tales como Inyección Alternada de Vapor, Inyección Continua de Vapor, Combustión In Situ, Sándwich Térmico, etc.(Moreange, 2001).

Para el año 1962 la producción del campo estaba en el orden de los 55 MBD. En 1964 comienza una prueba de campo a gran escala de Inyección Alternada de vapor ( Proyecto D-2 / E-2).la inyección alternada de vapor (IAV) se inició en Octubre de 1967 en el pozo LSJ-1115, momento para el cual ya se habían perforado un total de 141 pozos y en 1969 se masifica el proceso, alcanzándose en el año 1971 el pico máximo de producción del campo (230 MBD).

En 1978 comienza el Proyecto piloto de inyección Continua de Vapor en el área M-6. Entre 1983 y 1987 se efectúan pruebas de Inyección Alternada de Vapor con Aditivos y en 1993 se inicia su aplicación a gran escala. Entre los años 1987 y 1990 ocurre un cierre de producción, por razones de mercado, reduciéndose la misma a unos 45 MBD.

En Junio de 1996 se inicia la campaña de Perforación de Sondeos Estratigráficos Delimitadores (SED) con objeto de delimitar las Areas Periféricas de los yacimientos post – Eoceno de los campo Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero y generar modelos integrales de los yacimientos en cada una de las áreas periféricas, para así minimizar el riesgo de futuros desarrollos. (Carmona y Moreno, 1996).

Durante 1996/1997, la perforación de los sondeos estratigráficos constituyó una de las alternativas viables en la delimitación, tanto areal como verticalmente de los yacimientos de las áreas periféricas de la Costa Bolívar, específicamente se perforaron 15 sondeos estratigráfico correspondiente al campo Tía Juana. Esto permitió incrementar las reservas en 89.780 MMBLS de petróleo, identificar problemas de disminución de espesores en el área periféricas de Tía Juana Norte (APTJN) y prospectivas en el área periférica de Tía Juana Este (APTJE).

Para el campo Lagunillas sólo se perforaron 8 sondeos estratigráficos incrementando las reservas en 24.665 MMBLS de petróleo, permitiendo también identificar el límite de yacimiento en las Areas Periféricas Este Sur y extender los límites de los Yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior hacia el este del campo.

Para mediados de 1998 y hasta la fecha se han perforados 40 de los 60 sondeos planeados y se han trabajado de manera integral con los resultados obtenidos de la perforación de los mismos, agregando reservas a los campos petrolíferos de la Costa Bolívar, delimitando algunas áreas del yacimiento y ampliando otras.

## 1.5 Trabajos previos del área de estudio.

A partir del descubrimiento de los campos Tía Juana (en el año 1926), y Lagunillas (en el año 1930), correspondientes al campo Costanero Bolívar, se han realizado una serie de trabajos y estudios. A continuación se presentan los aspectos más resaltantes de algunos estudios seleccionados.

A partir del año 1951, Richardson y, en 1956, Atkinson realizaron reportes titulados como *Tarsand prospects, Lagunillas., Tía Juana and Lagunillas subsurface studies* y *Note on UL(Heavy) Development Bolivar/Baralt Coast (Field Lagunillas)* respectivamente. Ambos autores coinciden con estos proyectos que las fallas no se comportan como barrera a la migración de agua y petróleo, sino que son, más bien, las vías de migración para la invasión desde el ULH (aguas meteóricas) y desde abajo, quizás del Eoceno.

En 1980, Slavione realizó *Pruebas pilotos de pozos interespaciados en el proyecto W6 del yacimiento Lagunillas Superior Pesado en el Campo Lagunillas*. El autor señala que la Costa Bolívar ha sido desarrollada con un espaciamiento de 231m, mediante la inyección alternada de vapor (IAV). En este proceso, la recuperación es alta en la vecindad del pozo y declina a medida que se aleja de este, razón por la cual la presión del yacimiento no decae uniformemente en toda el área del proyecto, evitando así la compactación total. Por lo tanto, el espaciamiento es un factor determinante en la máxima recuperación en un proceso de inyección alternada de vapor. Las pruebas propuestas permitieron evaluar la posibilidad de aumentar el recobro mediante inyección alternada de vapor en pozos interespaciados en un yacimiento que contiene crudo sumamente viscoso.

En 1985, se realizó un reporte titulado *Campo Lagunillas, revisión geológica de los yacimientos Miocenos* por Goddard, el cual trata sobre el problema del avance de acuíferos en el norte e igualmente la invasión de las aguas en el sur dentro de las arenas de los distintos yacimientos del campo, señalando que la procedencia de las aguas es desde las arenas ULH y el Eoceno y su migración a lo largo de las fallas que atraviesan el campo, concluyendo que el agua producida de los yacimientos Miocenos del Campo Lagunillas son mayormente meteóricas.

En el año 1986, se realizó un reporte titulado *Campo Lagunillas revisión geológica de las áreas periféricas norte y este (yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior)* por Gil A., el cual contiene información geológica de los yacimientos del Mioceno de las áreas periféricas Norte y Este del Campo Lagunillas. Las características dominantes de los yacimientos revelan arenas no consolidadas, de poco espesor e interlaminadas con arcillas de espesores variables y discontinuos.

Desde el punto de vista estructural, ambas áreas forman parte del homoclinal típico de los campos de la costa Bolívar. En el área periférica Lagunillas Norte, los rasgos estructurales Noroeste – Suroeste del homoclinal se mantienen con buzamiento muy suaves ( $2^{\circ}$  -  $3^{\circ}$ ) hacia el suroeste, mientras que en el área periférica Lagunillas este, los valores son en el rango de  $10^{\circ}$  -  $12^{\circ}$ .

En 1996, se realiza un reporte titulado como *Delimitación de los Yacimientos Post-Eoceno en las áreas periféricas de los campos Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero* por Carmona y Moreno con el objetivo de delimitar las áreas periféricas de los campos antes mencionados y generar modelos integrales de los yacimientos en cada una de las áreas periféricas, para así minimizar el riesgo de futuros desarrollos.

En el año 2000 Azuaje realizó el trabajo especial de grado titulado como *Interpretación Sísmica del Bloque W6 correspondiente al Campo Lagunillas, Costa Oriental del Lago de Maracaibo* con el objeto de definir el marco estructural y estratigráfico de dicho bloque, para identificar superficies correlacionables en el Yacimiento Laguna Superior, Miembro Bachaquero Formación Lagunillas a partir de la correlación de datos petrofísicos del área.

En el año 2001 Velázco realiza un reporte titulado como *Sondeos Estratigráficos delimitadores en la Unidad Tierra Este Pesado* con el objetivo de definir modelos integrales (Estratigráfico, Estructural y Sedimentológico) a partir de información tomadas del subsuelo a través de perfiles eléctricos convencionales, la perforación de estos sondeos aportaron información acerca del buzamiento de las capas, producto del acuñaamiento de las mismas contra el Alto de Pueblo Viejo.

Sin embargo, a pesar de los levantamientos sísmicos 2D realizados en el área, y la información obtenida de los trabajos antes mencionados, los campos no disponen de mapas estructurales actualizados a los niveles de la discordancia del Eoceno, Lagunillas Inferior, Laguna y Miembro Bachaquero correspondiente a la Formación Lagunillas. Por lo que, la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado requiere revisar el marco estructural de los campos Tía Juana y Lagunillas, Costa Oriental del lago de Maracaibo, Estado Zulia, mediante la interpretación de los levantamientos sísmicos antes mencionados, con objeto de identificar posibles localizaciones de pozos de desarrollo y avanzada.

## 1.6 Programas utilizados para la interpretación sísmica

Para la interpretación estructural se contó con una estación de trabajo SUN /ULTRA60 con un espacio de disco de 4 Gigabytes utilizando la plataforma de trabajo Unix Solaris versión 2.5X asociadas a las aplicaciones de la empresa LandMark y *Geoframe*<sup>TM</sup>. En la figura 1.3 y 1.4 se muestra es forma esquemática las aplicaciones utilizadas para dicho trabajo

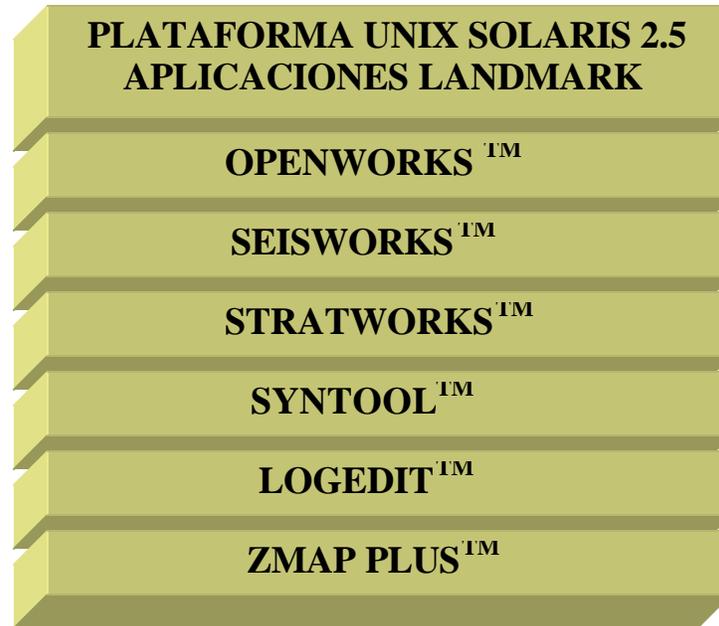


FIGURA 1.3 Diagrama esquemático de las aplicaciones de LandMark asociadas a la plataforma Unix Solaris 2.5X

*OpenWorks*<sup>TM</sup> es una herramienta especializada en la plataforma UNIX SOLARIS 2.5X, usada por grupos de multidisciplinarios de geólogos, geofísicos, petrofísicos e ingenieros de yacimientos para las diferentes aplicaciones de LandMark.

*Seisworks*<sup>TM</sup> se utilizó para realizar interpretación sísmica de los horizontes de interés y fallas, generación de mapas estructurales en tiempo a partir de los resultados obtenidos en la interpretación y aplicación de atributos estructurales.

*Stratworks*<sup>TM</sup> se utilizó para interpretaciones geológicas a partir de registros de pozos.

*Syntool<sup>TM</sup>* se utilizó para generar sismogramas sintéticos e identificar los horizontes a interpretar en la sísmica con el objetivo de calibrar sísmica / pozo.

*LogEdit<sup>TM</sup>* se utilizó para editar las curvas a aquellos registros de pozos que lo necesitaban.

*Z-Map Pluss<sup>TM</sup>* se utilizó para contornear y editar mapas de arenas, de velocidad, en tiempo y en profundidad.

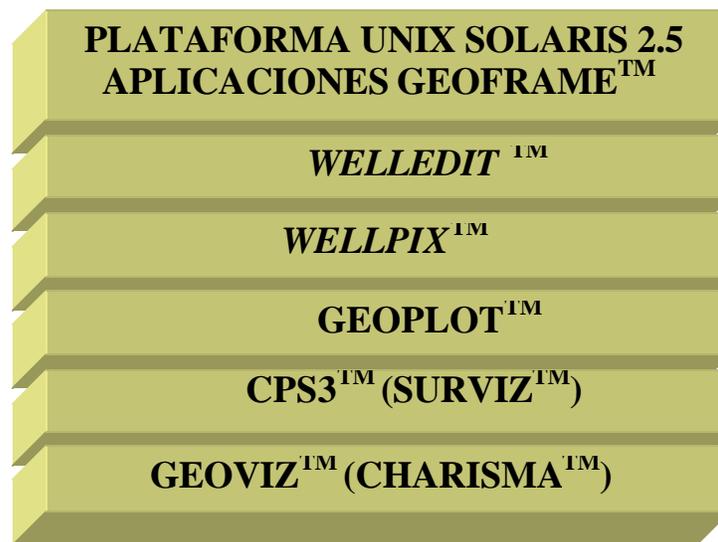


FIGURA 1.4 Diagrama esquemático de las aplicaciones de *Geoframe<sup>TM</sup>* asociadas a la plataforma Unix Solaris 2.5X

*WellEdit<sup>TM</sup>* se utilizó para editar las curvas.

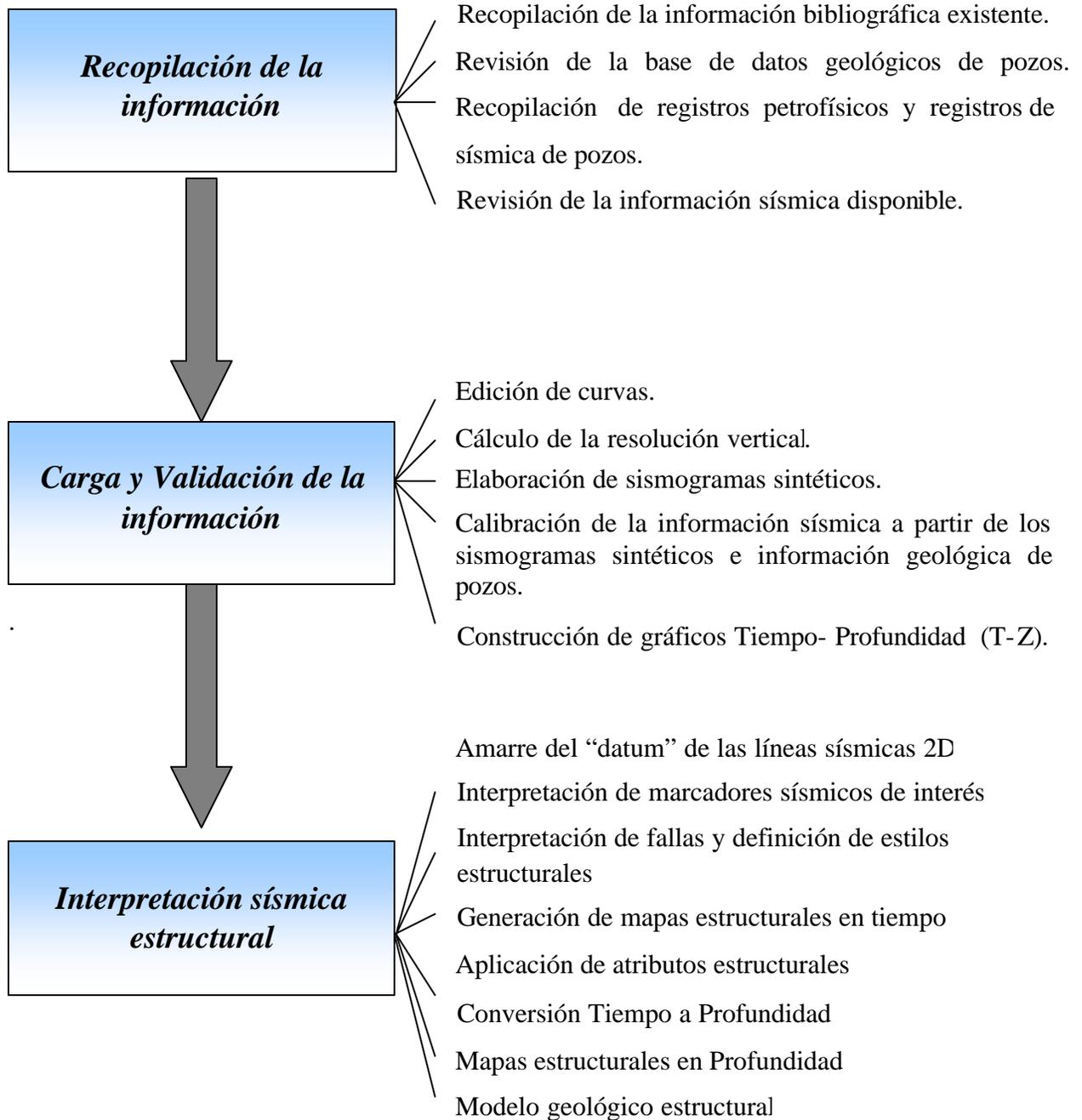
*WellPix<sup>TM</sup>* se utilizó para construir registro de pozos tipos y correlaciones estructurales.

*Geoplot<sup>TM</sup>* se utilizó para generar gráficos cruzados (crossplots).

*CPS-3<sup>TM</sup>* se utilizó para la edición de los mapas estructurales y polígonos de fallas.

*Surviz<sup>TM</sup>* y *Geoviz<sup>TM</sup>*: se utilizó para la visualización de fallas y horizontes en 3D.

## 1.7 Metodología de Trabajo



## **2.- MARCO GEOLÓGICO**

En el presente capítulo se describen el marco estructural y estratigráfico de la Cuenca del Lago de Maracaibo y la del campo Costanero Bolívar, específicamente de los Campos Lagunillas y Tía Juana.

### **2.1 Evolución Estructural**

#### ***2.1.1 Evolución Tectónica y Estructural del Occidente de Venezuela***

La cuenca petrolífera de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: la Sierra de Perijá al oeste, los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este. El marco se completa con la falla de Oca al norte. Dentro de estos elementos tectónicos mayores se desarrolla un amplio sinclinal que tiene estructuralmente la cuenca petrolífera de Maracaibo. Dentro del mismo se conocen diversos alineamientos tectónicos, muchos de los cuales tienen gran importancia para la producción de petróleo y cuya orientación aproximada es noreste - suroeste: alineamiento de La Paz-Mara, El Moján; alineamiento de Lama-Falla de Icotea; el de Pueblo Viejo-Ceuta; la estructura Misoa-Mene Grande y el anticlinal de Tarra- los Manueles (área de Casigua). Una característica común a estos alineamientos es el severo fallamiento longitudinal sobre, o cerca de las zonas crestales. Fallas y altos tectónicos más o menos paralelos a los anteriores completan el cuadro estructural (Soto, et al., 1998). (Fig.2.1).

La historia geológica antes del Cretáceo, en el Occidente de Venezuela, es poco conocida. Las rocas representativas de estos períodos se encuentran, por lo general, aflorando en ciertas áreas positivas, perturbadas varias veces por deformaciones tectónicas e intensamente erosionadas, lo cual complica la reconstrucción de dichos procesos.

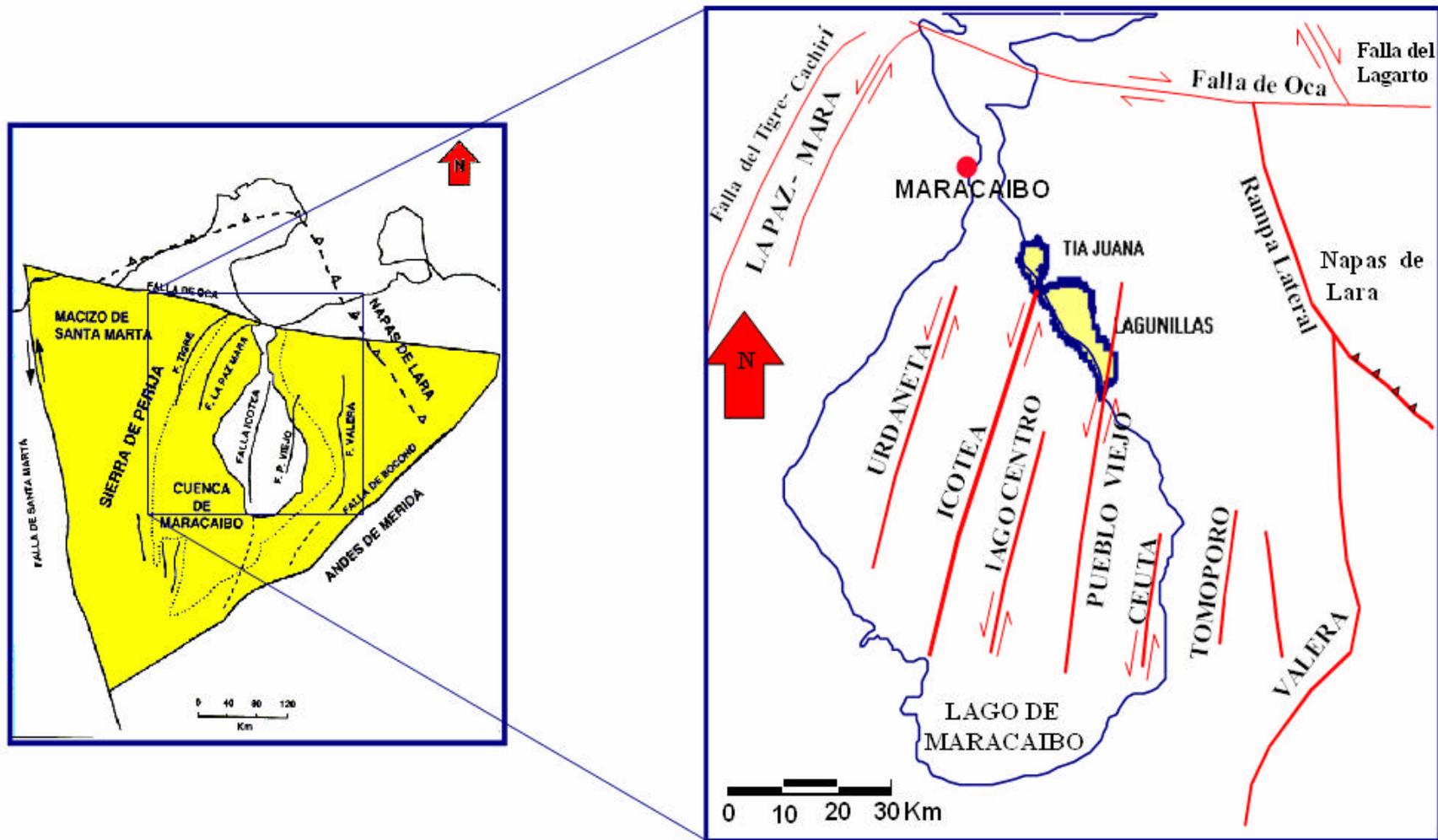


FIGURA 2.1. Cuadro Estructural de la Cuenca del Lago de Maracaibo

La evolución tectónica está enmarcada dentro de cuatro eventos fundamentales:

### ***2.1.1.1 Jurásico – Cretáceo Temprano***

Los sedimentos cretáceos indican ambientes de plataforma, a veces en condiciones restringidas (Formación La Luna). Esta plataforma se extendía sobre las actuales cuencas de Maracaibo y Barinas ya que para esa época no existía la Cordillera de los Andes, rasgo fisiográfico posterior al Jurásico - Cretáceo. Como fuente de los sedimentos clásticos se considera el Cratón de Guayana, al sureste a parte del Neocomiense.

Desde comienzos del cretáceo existía una zona alta, transversal al rumbo de los Andes: el Arco de Mérida, el cual parece una prolongación hacia el noreste del Cratón de Guayana. Esta zona positiva juega un papel importante hasta el final del Jurásico - Cretáceo y presenta una característica paleoestructural sobresaliente en la historia geológica de la región.

Este período está representado por la ruptura de Pangea, la cual trajo como consecuencia la generación de valles de extensión o “half grabens” rellenos sintectónicamente por las formaciones La Quinta y Río Negro, en orientación noreste. Ostos (1990), plantea que durante este evento, la separación entre la placa Suramericana y los bloques Chortis, Oaxaca y Yucatán está relacionada a la apertura del Golfo de México o Proto - Caribe (Fig. 2.2). En este evento se generaron patrones de fracturas, en su mayoría reactivadas, bien sea por el hundimiento de bloques durante la sedimentación en el Eoceno - Oligoceno o un levantamiento orogénico en el Neógeno (Figuroa et al., 1.994; Osuna et al., 1.990 ).

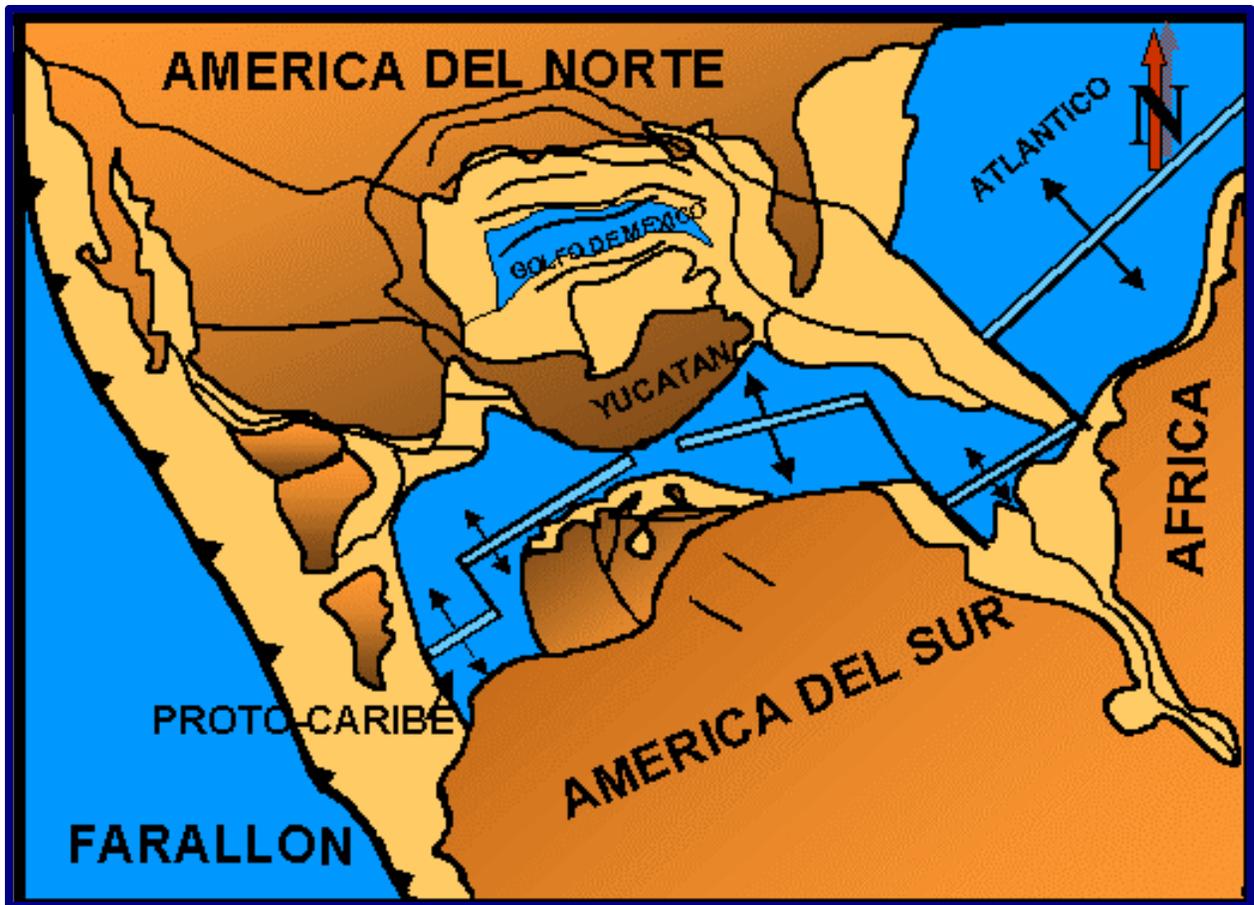


FIGURA 2.2. Jurásico - Cretácico Temprano. (Tomado de Lugo,1994).

### 2.1.1.2 Cretáceo Tardío - Paleoceno

En el Cretáceo tardío el principal evento tectónico es la inversión en la polaridad de la subducción en América Central, asociada a que la corteza anómala Caribe alcanza la zona de subducción. Posterior a la inversión ocurre la colisión entre la Plataforma de las Bahamas y la Placa del Caribe, así como la transpresión en el norte de Venezuela iniciándose así la sedimentación flysh en el noroeste de Sudamérica (Ostos,1990). Se depositan las formaciones Querecual; San Antonio (Grupo Guayuta) en oriente, Mucaria en el norte de Guárico, Navay en el flanco Surandino y la Luna en el Occidente, todas ricas en materia orgánica (Figuroa et al., 1.994, De Toni et al.,1.994 ). (Fig.2.3).

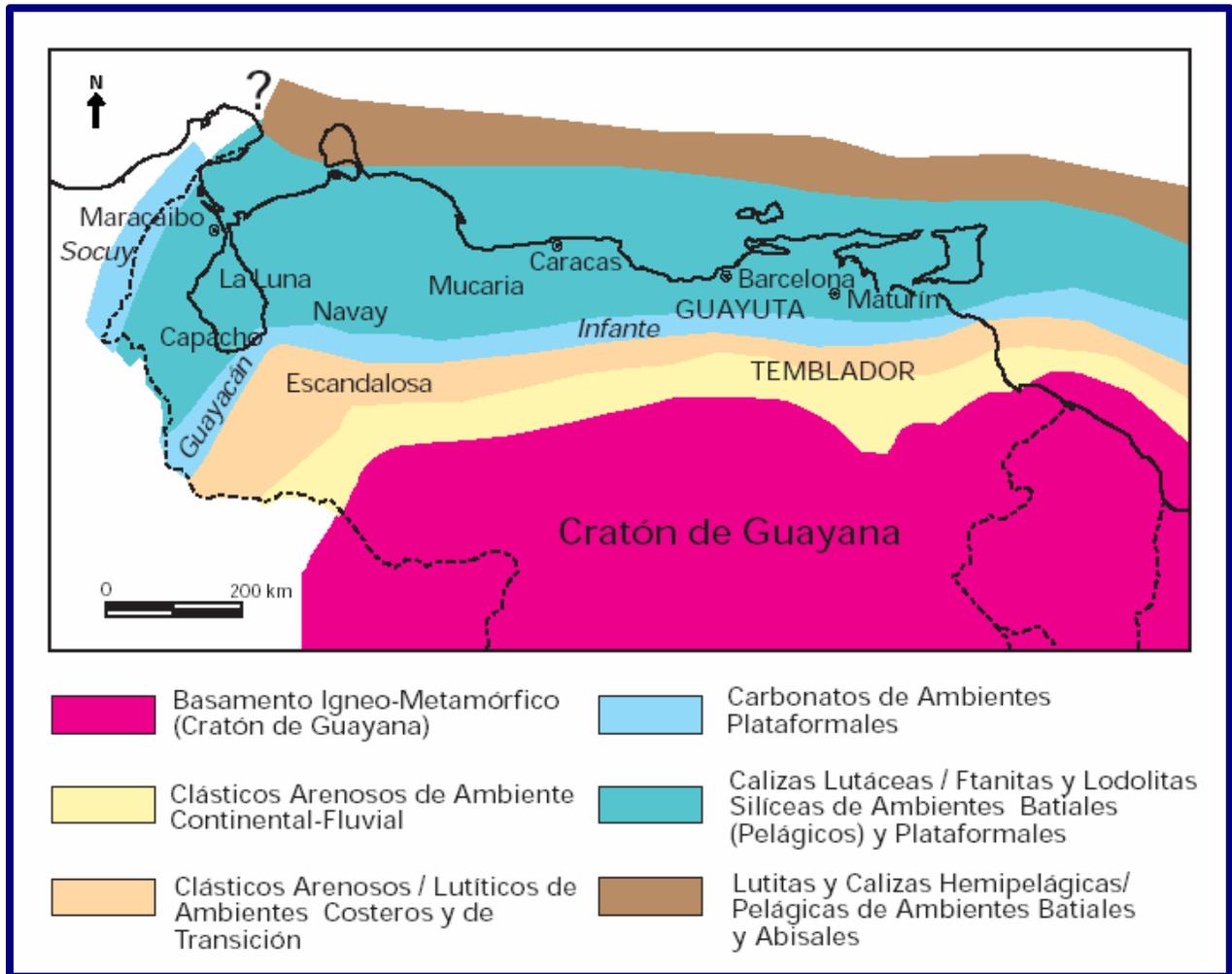


Figura 2.3 Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense – Campaniense (Cretácio Tardío) al norte del Cratón de Guayana. (Tomado de WEC,1997).

Ostos (op. cit) menciona que durante el Santoniense – Campaniense, el arco de Isla del Caribe colisionó contra el complejo de Sebastopol afectando a la esquina noroeste de Suramérica en los siguientes aspectos: primero los terrenos al Norte (Islas Venezolanas, Plataforma Venezolana, terrenos de la Cordillera de la Costa – Margarita, la Cordillera de la Costa) se emplazan hacia el sur, luego comienza un ciclo regresivo de la Cuenca de Maracaibo causado por el paso de un margen pasivo a un margen activo y por último la esquina noroeste de Suramérica es afectada por la transpresión que inició el transporte de los sedimentos al norte de Venezuela (alóctono).

Audemard (1991) señala que el carácter transgresivo causados por los efectos de la eustacia y subsidencia finaliza con una etapa regresiva, durante la cual se deposita la Formación Colón. Lugo y Mann (1993) acotan que la presencia del Arco de Mérida apenas emergido, durante el Cretáceo controla la distribución de las unidades carbonáticas y clásticas que se adelgazan hacia los flancos de dicho alto.

Hacia el final del Cretáceo (Audemard, op. cit) se producen eventos orogénicos en Colombia, asociados a la interacción del margen sur de la Placa Caribe con el borde sureste de la Placa Suramericana.

### ***2.1.1.3 Paleoceno – Eoceno***

Para comienzos del Paleoceno, Venezuela Occidental sufrió finalmente el efecto de la colisión entre la placa de Nazca (Océano Pacífico) y el Occidente Colombiano. De acuerdo a Figueroa (1.994), se generaron cuatro fases de deformación que se describen a continuación:

***2.1.1.3.1 Fase distensiva*** (Eoceno temprano a medio) afectando a las unidades cretáceas y a la parte inferior del Eoceno medio; el fallamiento es normal con dirección noreste - suroeste.

***2.1.1.3.2 Fase compresiva*** (Eoceno medio) asociada a la llegada de las Napas de Lara al norte de Venezuela (Fig. 2.4), originando predominantemente fallas inversas de orientación noroeste - sureste.

***2.1.1.3.3 Fase distensiva*** (Eoceno medio a tardío), fallamiento originado durante esta fase, tiene una orientación preferencial noreste - suroeste y afecta a las secuencias Cretácicas y Terciarias.

***2.1.1.3.4 Fase compresiva*** (Eoceno tardío) asociada probablemente al último empuje de las napas y al inicio del levantamiento de los Andes Orientales Colombianos. Origina fallamiento inverso con una orientación preferencial este - oeste, noreste - suroeste.

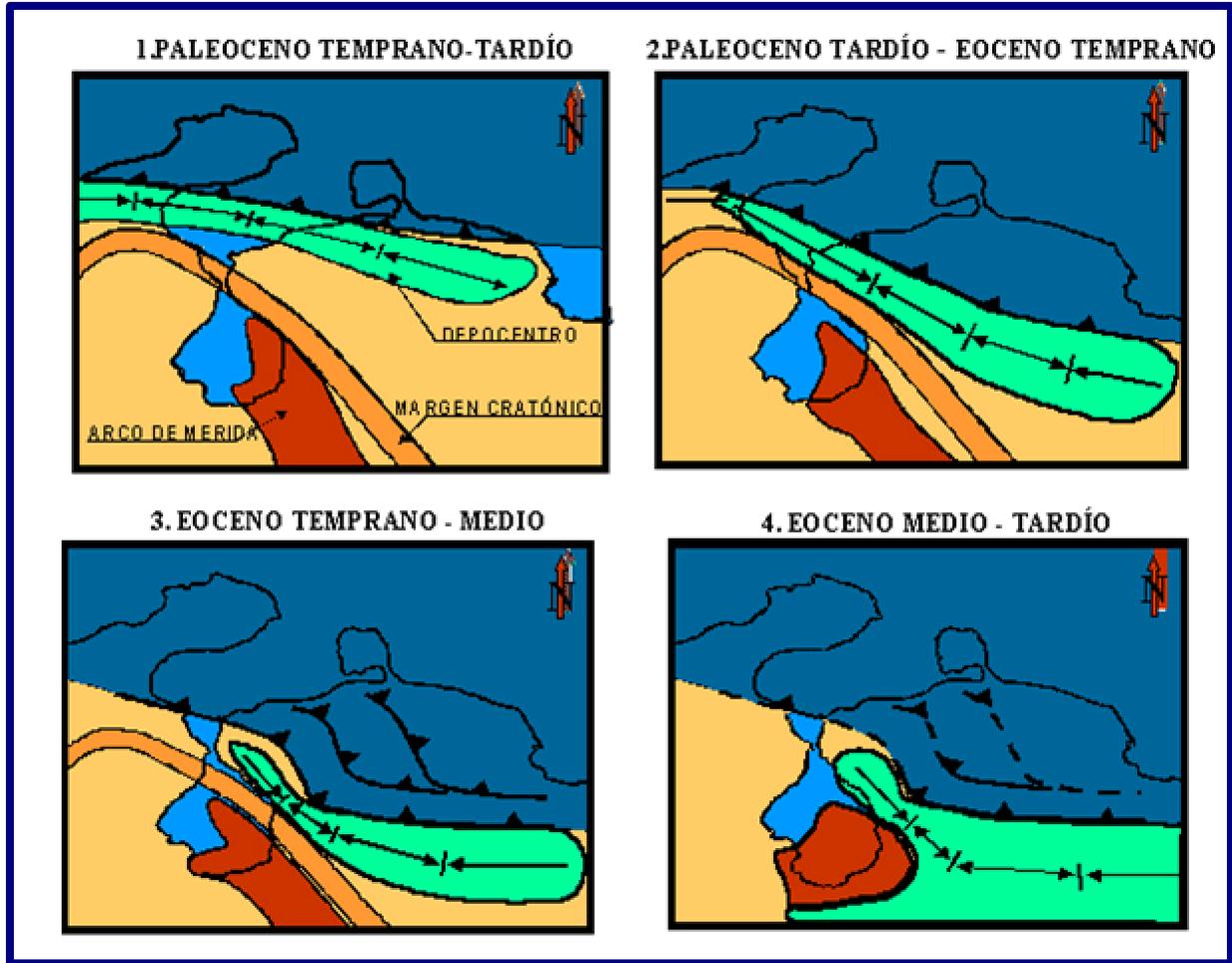
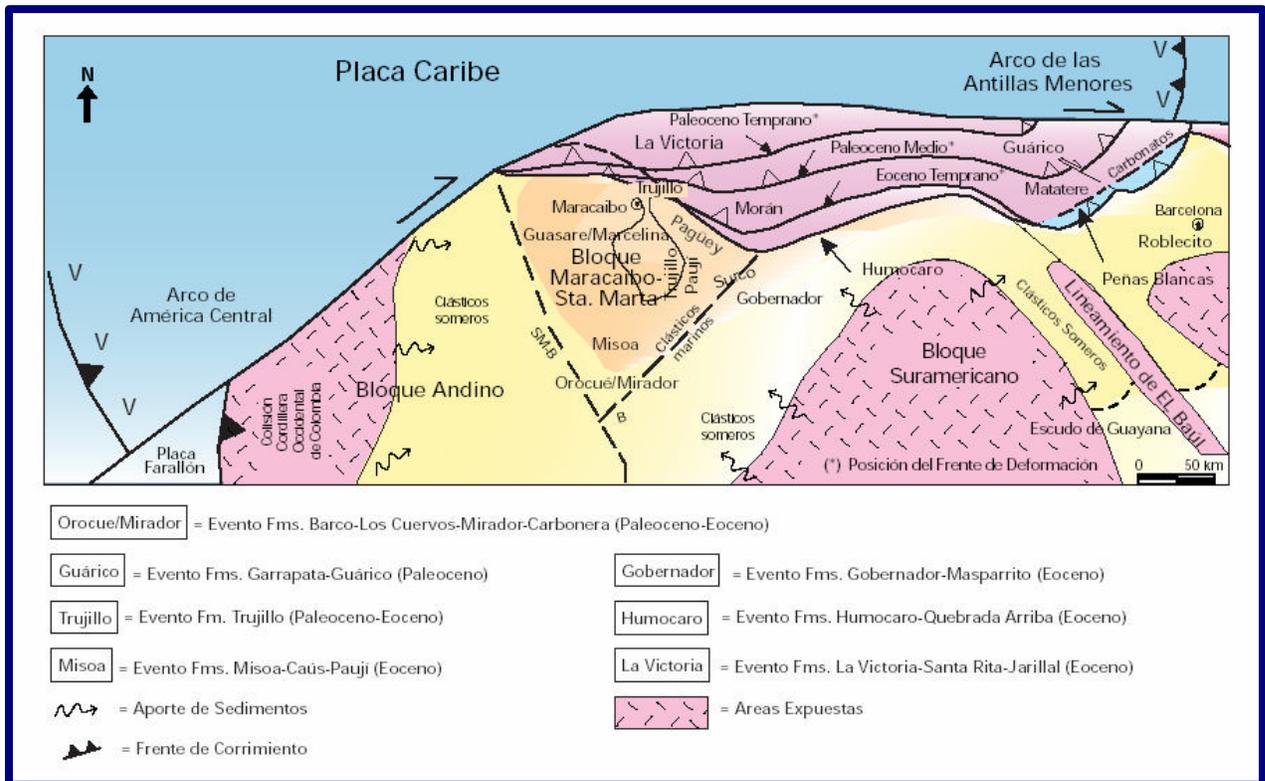


FIGURA 2.4. Avances de las Napas de Lara. (Tomado de Lugo,1994).

Meléndez, et. al (1996) describe que el emplazamiento de las Napas de Lara es responsable de la presencia de tres patrones estructurales: (1) una antefosa en Zulia Oriental y Nororiental, (2) reactivación de la flexura o alto periférico en la zona central de la cuenca, (3) fallas normales con buzamiento hacia el nor –noreste y fallas preexistentes reactivadas, entre las cuales destacan las de Tigre/Cachirí, la Paz, Urdaneta Oeste, Urdaneta, Icoatea, Pueblo Viejo y Begote.

En la figura 2.5 se muestra configuración Tectónica correspondiente en el período Paleoceno – Eoceno.



**FIGURA 2.5. Configuración Tectónica en el Paleoceno – Eoceno. (Tomado de WEC,1997).**

#### **2.1.1.4 Oligoceno – Mioceno.**

Durante el Oligoceno, la acumulación de sedimentos en la Cuenca de Maracaibo, fue preservada mayormente en los flancos: al oeste los clásticos arenosos de las formaciones Carbonera y Ceibote (Grupo el Fausto), al sur y este los clásticos finos de la Formación León y hacia el centro del lago la Formación Icoeta.

Desde el Eoceno tardío hasta el Mioceno Inferior la Cuenca de Maracaibo, estuvo sujeta a un régimen erosivo, durante el cual las estructuras transpresivas fueron truncadas. Luego de este período la tranquilidad tectónica, la cuenca estuvo sujeta a la reactivación del sistema transpresivo, pero a diferencia del primero, este lapso se caracterizó por una componente transpresiva mayor (Lugo, et al., 1993).

A finales del Oligoceno y principio del Mioceno, el levantamiento andino genera la sedimentación de importantes espesores de molasa (Grupo Guayabo; Formación La Villa, La Puerta y El Milagro). Hacia el centro y oeste del Lago de Maracaibo, unidades como la formación la Rosa, Lagunillas anteceden a los ambientes distales de las molasas andina y perijanera. En la figura 2.6 se muestra la distribución de las rocas durante el Oligoceno – Mioceno en Venezuela.

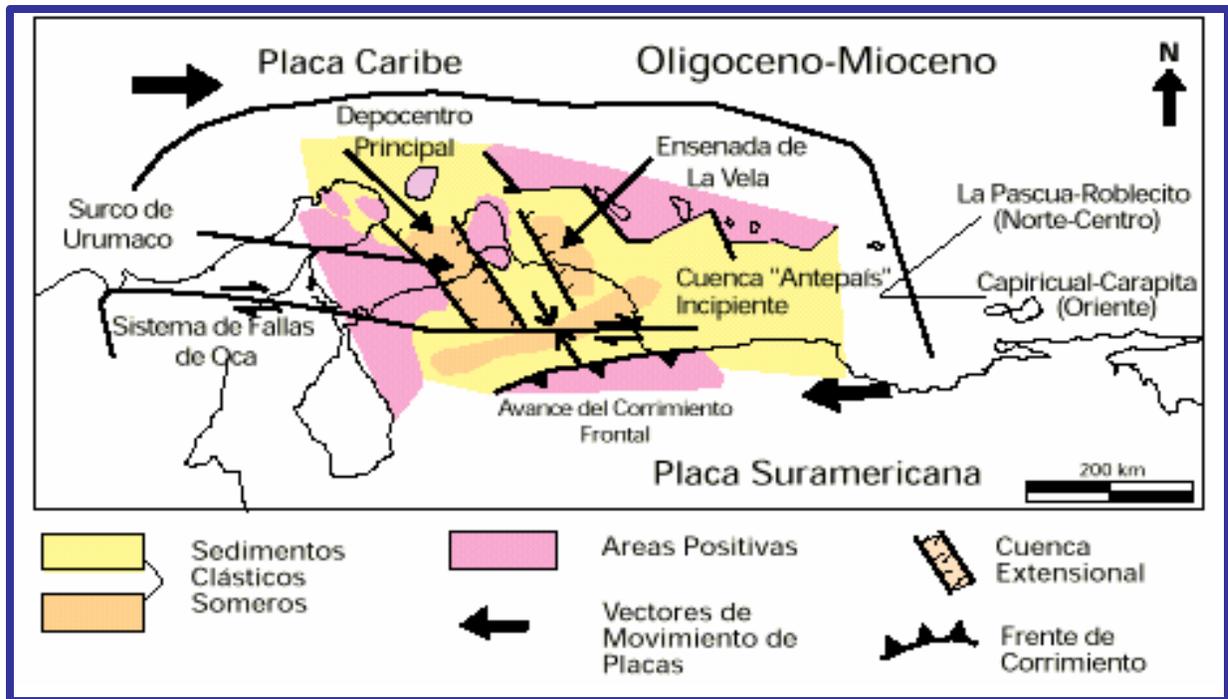


FIGURA 2.6 Distribución de las rocas durante el Oligoceno – Mioceno en Venezuela.

(Tomado de WEC, 1997).

### 2.1.1.5 Mioceno Tardío - Holoceno

El rasgo más sobresaliente de este período lo constituye la simultaneidad de la sedimentación de ciertas formaciones con los movimientos orogénicos responsables del levantamiento de los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá. A uno y otro lado de los Andes en vías de levantamiento se forman dos antefosas, donde los sedimentos mioceno alcanzan su máximo espesor, debido a la subsidencia. Fase compresiva es la asociada al levantamiento de los Andes.

El sistema se caracteriza por corrimientos que involucran al basamento, de rumbo noreste-suroeste, que se imbrican en despegues profundos en la corteza, con transporte hacia el noroeste y retrocorrimientos menores con vergencia opuesta. La deformación se localizó a lo largo del sistema de rift Jurásico, produciendo la inversión de los grabens preexistentes. (Audemard, 1.991, Figueroa, 1.994, De Toni et al., 1.994 ).

Las calizas (fracturadas) del Grupo Cogollo (Cretácico Temprano) constituyen los yacimientos carbonáticos más relevantes, mientras que los sellos regionales más importantes son las Formaciones Colón (Cretácico Tardío) y Paují (Eoceno). Localmente, constituyen sellos importantes el Miembro Machiques (Formación Apón) y las lutitas espesas dentro de las Formaciones ubicadas hacia el centro del Lago de Maracaibo, como Misoa, Lagunillas y La Rosa (Fig. 2.7), e incluso secuencias cercanas a los frentes de deformación, como la Formación León y los Grupos Guayabo (Andes) y El Fausto (Perijá).

Durante el Plio-Pleistoceno, los esfuerzos compresivos con dirección E-O afectaron el comportamiento de las fallas de Icotea y Pueblo Viejo, generando inversiones tectónicas, los cuales están evidenciadas por la presencia de corrimientos de vergencia (Lugo, 1992).

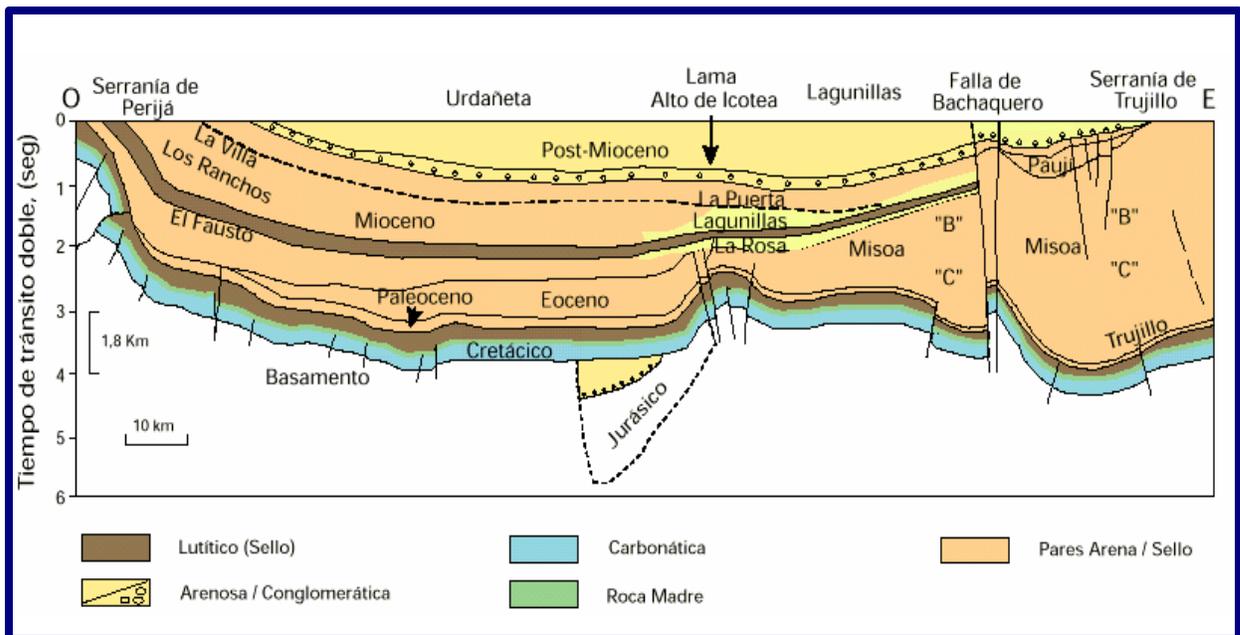


FIGURA 2.7. Sección de la Cuenca de Maracaibo (Tomado de WEC, 1997).

### ***2.1.2 Marco Estructural del Campo Tía Juana y Lagunillas***

El Eoceno y las formaciones más antiguas del Distrito Costanero Bolívar están intensamente plegados y fallados. Toda la región fue erosionada a una penillanura antes del depósito del Oligo-Mioceno, con excepción del área de Pueblo Viejo, estructura activa durante el Mioceno. (L.E.V., 1995).

Las líneas estructurales de la Discordancia del Eoceno son, por consiguiente, una representación general de la estructura de los sedimentos del Mioceno. Esta estructura homoclinal de buzamiento de 3 a 5 grados en dirección suroeste es atravesado por una falla normal de salto entre 30 y 50 pies de rumbo sureste – noreste conocida como falla Lagunillas (Fig. 2.8).

Las fallas mayores se encuentran en las capas eocenas y otras más antiguas, aunque varias de estas fallas se extienden y cortan los sedimentos Oligo- Miocenos; un ejemplo es la gran falla inversa, con 1.000 pies de salto vertical, en el flanco oeste del anticlinal de Pueblo Viejo. Se distinguen dos sistemas de fallamiento: un sistema mayor longitudinal de rumbo noreste y buzamiento alto, y otro sistema transversal de dirección noroeste - sureste. (L.E.V. et al.,1997).

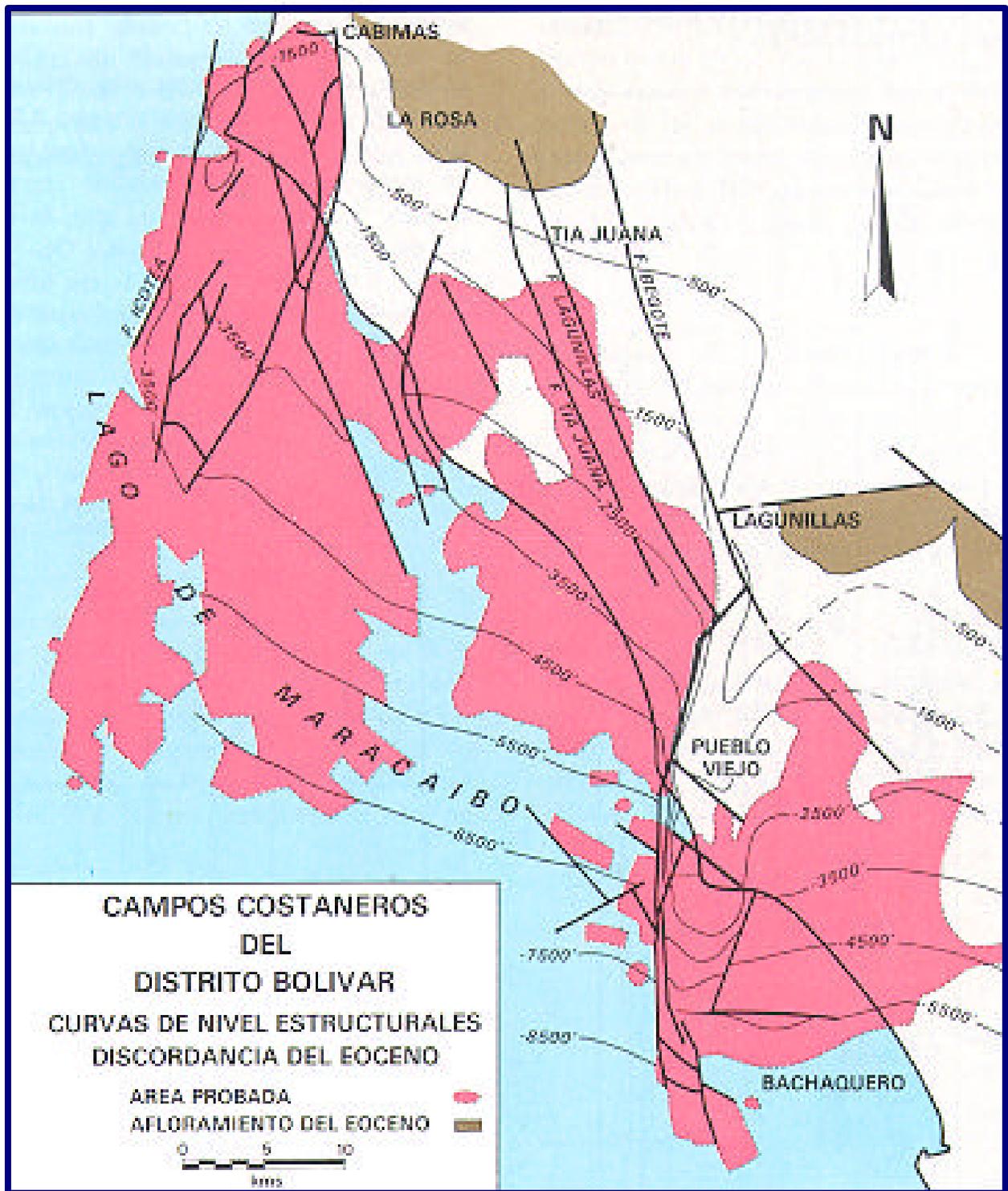


FIGURA 2.8. Mapa Estructural del Distrito Costanero Bolívar (Tope de la Discordancia del Eoceno)

Tomado de Schlumberger (1980).

El anticlinal fallado de Pueblo Viejo tiene dirección norte - sur y declive hacia el sur que delimita dos áreas bajas naturales, las cuales pueden definirse como el sinclinorio de Bachaquero (oeste) y el sinclinorio de Lagunillas (noroeste). Este sinclinorio es tan suave que se califica como un homoclinal con inclinación hacia al sur-suroeste, gran parte de este levantamiento constituyó un área positiva al comienzo de la sedimentación post-orogénica y como consecuencia, en el área costanera de Pueblo Viejo, las formaciones La Rosa y Lagunillas se acuñan en ambos flancos del levantamiento mientras que, hacia el sur, el Miembro Bachaquero recubre la zona crestal con un espesor reducido de 200-300 pies. Sobre la mayor parte de la plataforma de Bachaquero, hacia el sur no se sedimentó la Formación la Rosa ni la parte inferior de La Formación Lagunillas, pero hacia el norte si se sedimentaron estas formaciones. (Fig. 2.9).

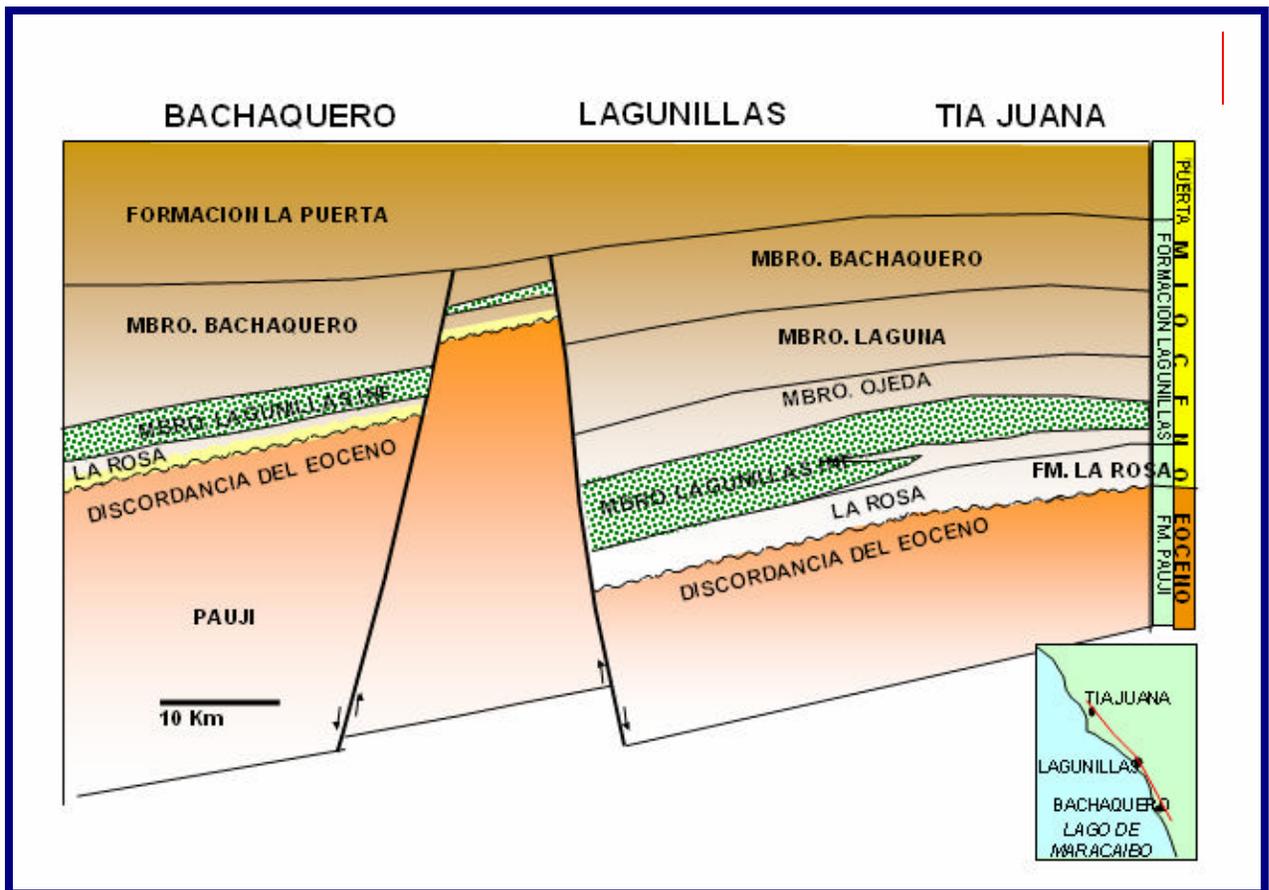


FIGURA 2.9. Sección Estructural de Costa Bolívar. (Tomado de Salazar, et al., 2001)

Específicamente, a lo largo de todo el campo Tía Juana, la estructura mas sobresaliente se refleja en un homoclinal con rumbo Noroeste y buzamiento de 3° - 6° hacia el suroeste, bisectado de norte a sur por varias fallas tansversales; en esta estructura se encuentra depositadas las arenas de la Formación Lagunillas Inferior, de edad Mioceno medio.

### ***2.1.2.1 Problemática de los campos Tía Juana y Lagunillas.***

Hacia la parte este del campo Tía Juana, presenta problemas de un frente de invasión de agua meteórica buzamiento arriba, es importante señalar que este frente de invasión no obedece a un patrón de frente lineal controlado por la estructura, sino que se presenta como un frente irregular tipo digitado.

Las áreas periféricas este – norte y este – sur del campo Lagunillas presentan el mismo problema, la presencia de un frente de agua meteórica, tipo digitado, el cual se canaliza por las arenas con mejor permeabilidad, en los yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior. También se observa una alta complejidad estructural ocasionadas por los altos buzamientos y fallas presentes en las cercanías del ya mencionado Alto de Pueblo Viejo.

La cuenca de subsidencia de Tía Juana esta situada a 16 Km al sur de Cabimas y a 5 Km al norte de Ciudad Ojeda, tiene actualmente de 6 a 10 Km de diámetro y ocupa unos 100 Km<sup>2</sup> de extensión, de los cuales el 60% corresponde a tierra y el 40% es lacustre. Sus formas es ovalada en su periferia y subredondeada en la parte central. El fenómeno comenzó en 1936 –1937, a los dos años de haberse iniciado la explotación. Para el año 1944 alcanzaba a 1 m por debajo del nivel del lago, la tasa de subsidencia máxima fue de 18 cm/año en 1941 y decreció a 4.5 cm/año en 1980. (Méndez et al.,1982).

La cuenca de subsidencia de Lagunillas, al igual que la de Tía Juana, tiene forma de cono invertido con vértice coincidiendo con el área de máxima explotación. El fenómeno comenzó en 1925 –1926. La tasa de hundimiento para 1944 era de 20 cm/año, fecha en la cual el terreno estaba a 3.10 m por debajo del nivel del lago, para el año 1982 alcanzaba a 4.55m.(Méndez et al.,1982).

## 2.2 Evolución Estratigráfica

### 2.2.1 Estratigrafía de la Cuenca del Lago de Maracaibo

En el subsuelo del área de la cuenca del lago de Maracaibo, aparecen las siguientes formaciones, enunciada desde la más antigua hasta la más joven. En la Figura 2.10 se presenta la columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Lago de Maracaibo.

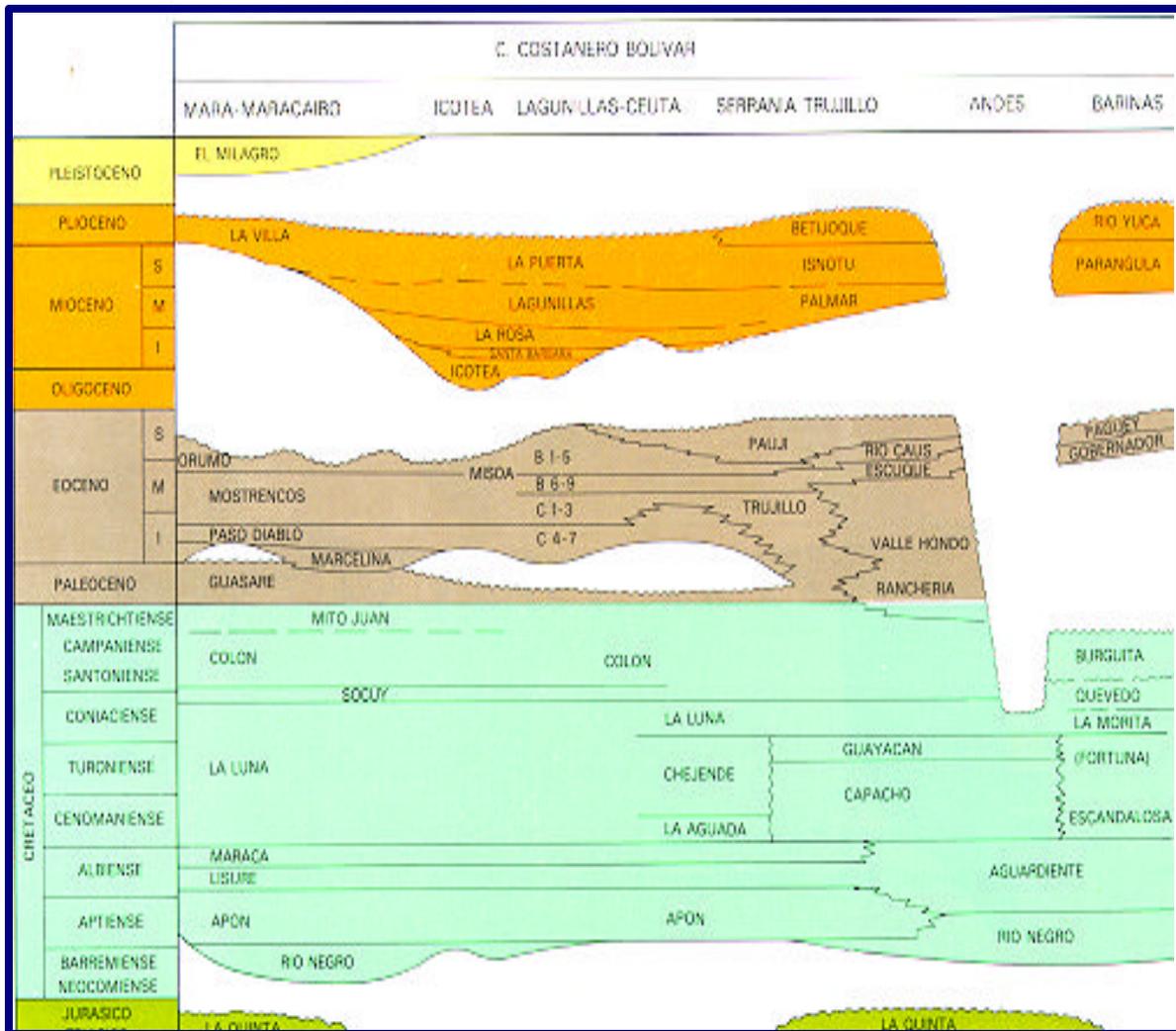


FIGURA 2.10. Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Lago de Maracaibo (Tomado de Schlumberger, 1980).

En el Triásico se inicia un ciclo sedimentario continental, de capas rojas pertenecientes a la Formación La Quinta. Para el Jurásico, los sedimentos son de tipo fluviales asociados a rocas volcánicas, pertenecientes también a la Formación La Quinta, de edad mas joven en la Sierra de Perijá que la secuencia encontrada en los Andes, Filitas, calizas y conglomerados en Paraguaná pertenecientes a la Formación Pueblo Nuevo. Los sedimentos marinos del Jurásico Inferior pertenecen a la Formación Tinacoa en Perijá (Schlumberger, 1980).

El Cretácico Barremiense, representado por la Formación Río Negro (clásticos basales de origen continental rellenando los Surcos, conglomerados delgados), el Cretácico Aptiense – Albiense, representado por grandes espesores de carbonatos con persistencia lateral y vertical (Grupo Cogollo, Formación Inferior Apón la cual es productora en el Lago) aumento de clásticos al sur (Formación Aguardiente de los Andes) y al oeste (Schlumberger, 1980).

Durante el Cenomeniense – Coniaciense se produce una transgresión generalizada de norte a sur, produciéndose en la Cuenca de Maracaibo una sedimentación homogénea, marina, desprovista de clásticos gruesos de ambiente euxínico, de carácter calcáreo - lutítica con alto contenido de materia orgánica y amplia distribución geográfica, por lo cual es muy importante como roca madre correspondiente a la Formación La Luna.

La Formación Colón del Santoniense – Maestrichtiense se caracteriza por lutitas microfósilíferas gris oscuras a negras, macizas, períticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son mas arenosas hacia la parte superior, donde la unidad pasa transicionalmente a la Formación Mito Juan. El contacto entre estas dos formaciones es difícil de reconocer por ser gradacional con intervalos lutíticos, que poco a poco se hacen mas arenosos. El ambiente de sedimentación de la Formación Colón, se considera como marino abierto con buena circulación de masas de agua y desarrollo favorable de microfaunas bentónicas y planctónicas (L.E.V., 1997).

La Formación Mito Juan, se caracteriza litológicamente por las arcillas grises, gris – verdosas y negras, localmente arenosas, en las cuales el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas.

Esta formación, representa una facies de aguas marinas poco profundas con intervalos salobres; que es uno de los criterios de diferenciación con la Formación Colón infrayacente, además de la presencia de arenas, es el marcado cambio de las faunas de los foraminíferos en comparación con los de Colón (Sutton., 1946). Las formaciones Colón y Mito Juan, se ha comportado como roca sello sobre la roca madre de la Formación La Luna, impidiendo la migración de petróleo hasta el Mioceno posiblemente. (L.E.V., 1997).

Durante el Paleoceno, la Formación Guasare se caracteriza por algunas capas de calizas fosilíferas intercaladas entre areniscas y lutitas localmente glauconíticas o carbonáceas. Las calizas de la Formación Guasare, son muy fosilíferas; en ella se reconocen lamelibranquios, gasterópodos y abundantes foraminíferos que se identifican con formas paleocenas (L.E.V., 1997).

El espesor varía entre 30 y 400 metros en el lago de Maracaibo. En la plataforma de Maracaibo, está truncada por erosión en el tope de algunas estructuras anticlinales, especialmente al sur del Lago de Maracaibo. La Formación Guasare es concordante y transicional sobre las lutitas y limolitas de la Formación Mito Juan. (L.E.V., 1997).

El Eoceno está separado de los sedimentos suprayacentes por una discordancia. Está representado por la Formación Misoa, dividida en Arenas "C" y Arenas "B". Esta sección contiene areniscas duras de grano fino a grueso interestratificadas con lutitas oscuras. Hacia el sur y al cierre superior del Eoceno, aparecen las lutitas de la Formación Paují. (González de Juana, et al., 1980).

En el subsuelo del lago de Maracaibo, la Formación Misoa, representa la alternancia de ambientes de llanura deltáica alta con llanuras deltaícas bajas y condiciones de aguas llanas marginales. En las facies deltaíca alta, se preservaron grandes mantos de complejos de areniscas de espolones aluviales, de canales distributarios migratorios, con delgados lentes de lutitas. Las condiciones marinas de aguas llanas, están representadas por facies lutíticas fosilíferas y areniscas de barreras litorales bioturbadas.

La secuencia Oligoceno - Mioceno pertenece a un gran complejo fluvio – costero de un sistema de canales en dirección norte - sur y depósitos costeros asociados, con arenas poco consolidadas de espesor variable. Se subdivide, de abajo hacia arriba, en las siguientes formaciones: Icotea, La Rosa, Lagunillas, La Puerta y Betijoque. La Formación Icotea (Oligoceno) está compuesta principalmente de areniscas, limolitas y arcilitas. La Formación La Rosa consiste en lutitas marinas, fosilíferas, intercaladas con areniscas. Las formaciones Lagunillas, La Puerta y Betijoque (Mioceno) están constituidas por arcillas interestratificadas con lutitas y areniscas porosas poco consolidadas, de grano fino a medio. (ver Fig. 2.10).

El espesor de la Formación Onia considerada de edad Plioceno, varía notablemente de oeste a este, entre 1200 y 95 metros. La Formación Onia, carece de fósiles, en la sección del pozo La Rita esta se encuentra en discordancia sobre la Formación La Puerta, en la parte Occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo, es concordante y transicional con la Formación La Villa, y en la zona de Maracaibo, se encuentra en discordancia sobre las formaciones La Villa, Lagunillas y otras más antiguas. El contacto superior es transicional con la Formación El Milagro. (L.E.V.,1997).

Sobre el Arco de Maracaibo, la Formación El Milagro (Pleistoceno) consiste de arenas friables, finas y gruesas, muy micáceas de color crema a pardo rojizo, limos micáceas de color gris claro, interestratificadas con arcillas arenosas, rojas, pardo amarillenta y lentes lateríticos bien cementados. Estas capas cubren horizontes caracterizados por nódulos de hierro y formación laterítica, que fueron interpretados como paleosuelos, según Graf (1969). El paleosuelo superior, separa la gruesa unidad inferior de la sección arenosa, característica de la Formación El Milagro. El paleosuelo inferior esta desarrollado sobre el centro de arco y separa la Formación El Milagro de una unidad verdosa, posiblemente equivalente a la Formación Onia.

Según Sutton (1946), estos sedimentos son de aguas dulces y llanas, depositadas a una distancia considerable del área fuente. Kerez y San Juan (1964), consideran que el ambiente de sedimentación de la formación es fluvio – deltáico y lacustrino marginal. Según Graf (1969), los sedimentos son de carácter fluvial y paludal, que se depositaron sobre un amplio plano costanero y de poco relieve, y estuvieron expuestos a la meteorización y anegamiento por lo menos tres veces durante el Cuaternario. Estas condiciones facilitaron la acción eólica y algunas capas de la formación, pueden representar dunas. (L.E.V.,1997).

**2.2.2- Estratigrafía de los campos Tía Juana y Lagunillas.**

En el área de estudio, la Formación Lagunillas están compuesta por los miembros Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero. Los yacimientos se encuentran en la Formación Lagunillas, denominados yacimiento Laguna (compuesto por los miembros Bachaquero y Laguna) y el yacimiento Lagunillas Inferior (compuesto por el miembro Lagunillas Inferior). En la figura 2.11 y 2.12 se encuentra la secuencia estratigráfica post- eocénica y el registro tipo del área de estudio representado por el pozo LS-5169, respectivamente.

Cronología		Unidad Estratigráfica		Tipo de Litología	
Terciario	Mioceno	Formación La Puerta	Timoteo	Areniscas y Lutitas	
			Playa		
			Poro		
		Formación Lagunillas	Yacimiento Laguna	Miembro Bachaquero	Areniscas Masivas no Consolidadas con Intercalaciones de Lutitas
				Miembro Laguna	
				Miembro Ojeda	
			Lagunillas Inferior	H.O.Z	
				L.O.Z	
				LL.O.Z	
	Formación La Rosa	Arenas Santa Bárbara		Lutitas y Areniscas	
Formación		Areniscas Masivas y Lutitas			
Eoceno	Formación Paují				

FIGURA 2.11. Columna Estratigráfica generalizada del área de estudio.

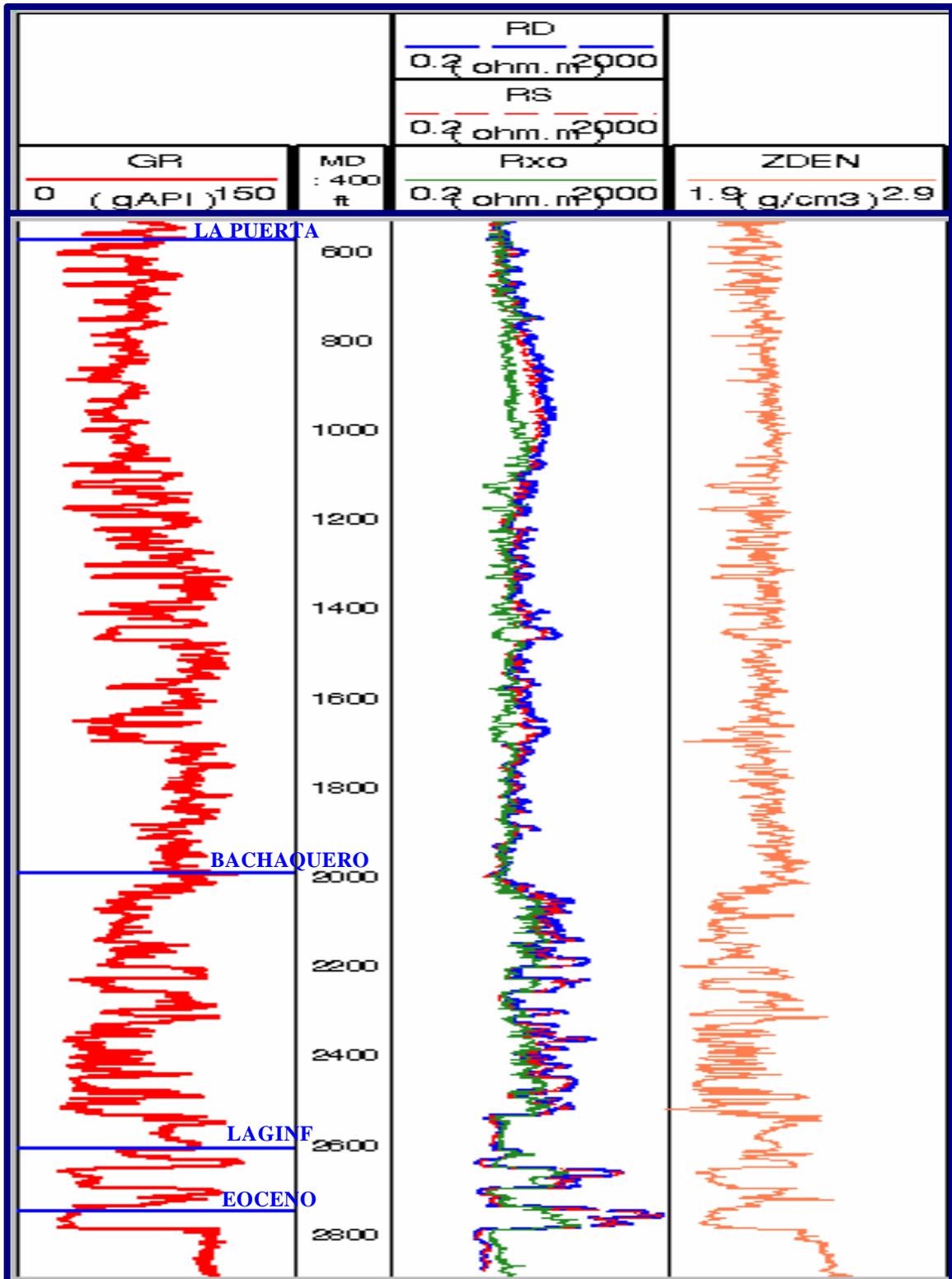


FIGURA 2.12 Registro tipo del área de estudio, representado por el pozo LS-5169

A principios del Mioceno (Mioceno Inferior) ocurre una invasión marina desde Falcón hacia la Cuenca de Maracaibo, que origina la depositación de la arena basal (Santa Bárbara) y lutitas, con ciertos horizontes locales productores de petróleo en La Formación la Rosa, lo cual se formó a partir de un sistema de barras de meandros depositados sobre sedimentos erosionados del Eoceno, que originaron una discordancia en la base de la misma. Esta depositación ocurre de un ambiente marino abierto, el cual, en una regresión rápida, pasa transicionalmente a deltáico durante el Mioceno Medio con arenas productoras en la Formación Lagunillas en el Miembro Lagunillas Inferior.

La Formación Lagunillas consiste en areniscas poco consolidadas, arcillas, lutitas y algunos lignitos. La sedimentología del Miembro Lagunillas Inferior es difícil de definir, debido a que sus capas son delgadas, se interpreta como un sistema transgresivo que va de canales fluviales en la base a depósitos marino – costeros en el tope (L.E.V., et al., 1997).

Sobre el Miembro Lagunillas Inferior se depositó de manera transicional y concordante el Miembro Laguna como parte de un avance de la línea de costa hacia el mar, formando parte de un sistema encadenado de alto nivel. Sobre este miembro se depositó de manera erosiva el Miembro Bachaquero como parte una caída relativa del nivel del mar.

El tope de la secuencia, Miembro Bachaquero es considerado como una superficie de máxima inundación, debido a su continuidad a través del campo y su contenido fósil y litológico. La base de la secuencia es considerada un límite secuencial debido a su carácter regional erosivo e irregular a lo largo del campo, la cual es un excelente marcador estratigráfico.

### **2.2.2.1 Formaciones del Mioceno**

#### **2.2.2.1.1 Formación La Rosa**

Se localiza en el campo petrolífero de La Rosa, al sur de Cabimas, Distrito Bolívar del Estado Zulia, Costa Oriental del lago de Maracaibo. Su espesor varía de 180 a 250 m disminuyendo hacia el sur y el norte, alcanzando su espesor máximo en el sinclinal de Icotea, situado a 4 Km. al norte del campo La Rosa. En el Alto de Pueblo Viejo está ausente, probablemente por no haberse depositado (Almarza et al.,1998).

Esta formación, de edad Mioceno Temprano, yace con fuerte discordancia angular sobre la Formación Misoa, de edad Eoceno, o sobre la Formación Icotea y pasa transicionalmente a la Formación Lagunillas. Se considera, en su parte basal, la primera etapa de la invasión marina, sobre la superficie erosionada del Eoceno y/o de la Formación Icotea. Hacia el tope, los depósitos presentan mayor influencia deltáica, haciéndose similares a los del Miembro Lagunillas Inferior, de la Formación Lagunillas suprayacente. (Jam., 1977) en <http://www.intevep.pdv.com/~ibc03/>.

En términos generales, la mayor parte consiste de lutitas arcillosas, verdosas, mas o menos fosilíferas, con una cantidad subordinada de capas de areniscas y lutitas. (Almarza et al.,1998), de acuerdo a los intervalos litológicos de facies marinas, se dividió esta unidad en cuatro zonas ascendentes:

- **Miembro Santa Bárbara:** Areniscas arcillosas poco consolidadas, grises a marrones, lutitas gris verdoso interlaminadas con areniscas.
- **Lutita La Rosa:** Lutitas arcillosas de color verde grisáceo, con lutitas arenosas y areniscas delgadas fosilíferas muy escasas.
- **Arena Intermedia:** Arenas arcillosas en capas delgadas intercaladas con lutitas arcillosas grises, arcillitas arenosas y areniscas friables.
- **Arena de la Rosa:** Caracterizada por areniscas friables en capas gruesas.

### **2.2.2.1.2 Formación Lagunillas**

En términos generales, la Formación Lagunillas consiste en areniscas poco consolidadas, arcillas, lutitas y algunos lignitos. Su espesor es de aproximadamente 300 m, sin embargo, en el lago central se señalan 960 m y, varía de 61 a 610 m en el Campo Ceuta.

Suprayace concordantemente a la Formación La Rosa, excepto en aquellas áreas donde esta no se depositó como en los altos de Pueblo Viejo y Ceuta. En dichas áreas yace directamente a la Discordancia del Eoceno (Almarza et al.,1998).

La formación pasa transicionalmente a la Formación Isnotú. La edad de esta formación es Mioceno Medio. La parte basal (Miembro Lagunillas Inferior), representa un complejo deltáico, progradante sobre la Formación La Rosa. El Miembro Laguna suprayacente corresponde a un aumento temporal de las condiciones marinas. La porción superior (Miembro Bachaquero) representa un ciclo regresivo, con predominio de ambientes deltáicos y fluviales. La Formación Lagunillas. Se extiende en el subsuelo del lago y aflora parcialmente al este del mismo. Jam (1977) en <http://www.intevep.pdv.com/~ibc03/>.

La formación es resultado de sedimentación de un ambiente fluvio - deltáico con cambios rápidos de aguas salobres a no marinas y de nuevo a aguas dulces. La formación se compone principalmente de una intercalación de lutitas, arcillas, arenas, areniscas poco consolidadas y algunos lignitos. Las características individuales de los miembros reflejan el cambio de ambiente de marino somero a deltáico y fluvial. Szenk (1959) propuso una subdivisión de cuatro (4) miembros para la costa oriental del Lago de Maracaibo las cuales correlacionan con la de Sutton (1946), a continuación se muestran la subdivisión de los cuatro miembros correspondientes a la Formación Lagunillas.

- **Miembro Lagunillas Inferior:** Esta compuesto por areniscas friables de grano fino, de color variable de marrón a gris claro y blanco intercaladas con lutitas gris claro a gris oscuro. Localmente se encuentran lignitos.
- **Miembro Ojeda:** Consiste de arcillas moteadas, areniscas de color gris localmente glauconíticas y lutitas grises.

- **Miembro Laguna:** El miembro Laguna (Sutton, op.cit.) consistente en lutitas grises fosilíferas y lutitas arenosas que representan una breve incursión de aguas marinas normales presentan capas glauconíticas no fosilíferas que se hacen más arenosas hacia el este.
- **Miembro Bachaquero:** La mitad superior de la Formación Lagunillas se denomina Miembro Bachaquero (Sutton, op.cit.) y son intercalaciones de lutitas arenosas y areniscas pobremente consolidadas, con capas ocasionales de lignitos de hasta 1,5 metros de espesor.

Se presentan pocos intervalos de siderita y es muy común encontrar diminutas esférulas de siderita dispersas en las lutitas blanquecinas. El porcentaje de areniscas aumenta hacia el tope y son localmente petrolíferas en las áreas de Lagunillas y Bachaquero.

En el yacimiento Laguna existe interconexión lateral que es muy difícil definir la independencia de los diferentes cuerpos de arena. A través del análisis secuencial realizado en la columna sedimentaria en la U.E. Tierra Este Pesado, se determinó que comienza con un evento regresivo, indicando una caída del nivel del mar y una exposición subaérea de los sedimentos. La superficie expuesta está sujeta a la erosión fluvial, formando valles socavados, los cuales son rellenados por los sedimentos fluviales de las unidades sedimentarias I, II, III y deltaicos de la unidad IV (Fig. 2.13) (Salazar, et. al. 2000). Las superficies que separan estas unidades sedimentarias son consideradas superficies de inundación continental no muy continuas pero que ha permite la correlación entre pozos.

El tope de la secuencia, es el tope del miembro Bachaquero el cual es considerado como una superficie de máxima inundación debido a su continuidad a través del campo y su contenido fósil y litológico. La base de la secuencia es considerada un limite secuencial debido a su carácter regional erosivo e irregular a lo largo del campo.

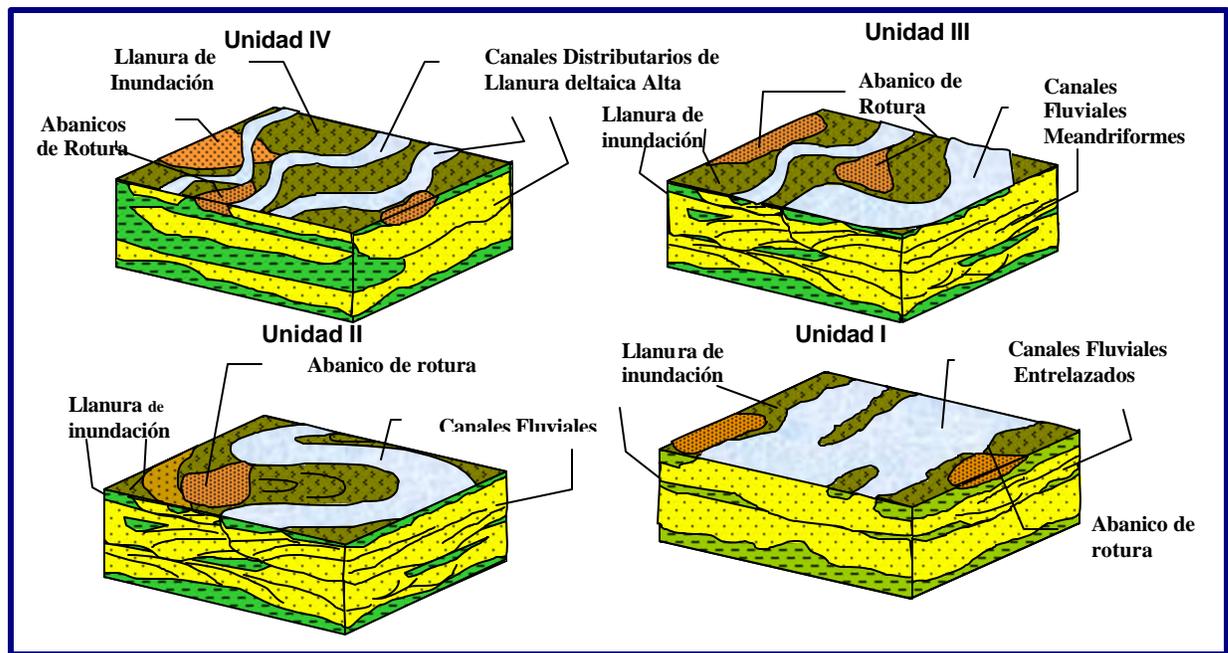


FIGURA 2.13 Ambientes Interpretados en las Unidades Sedimentarias. Tomado de (Salazar, et al 2002)

### 2.2.2.1.3 Formación la Puerta

La unidad se restringe al subsuelo en los Distritos Bolívar y Miranda, Zulia noroccidental en Falcón ("La Puerta superior"), y de allí se llamó Formación La Puerta.

El término fue empleado en ese sentido por Young (1960), quien subdividió a la formación en tres miembros en la región de Ceuta. En Zulia se ha empleado también el nombre de Formación Isnotú como sinónimo de la Formación La Puerta (Weingeist, 1956, Léxico Estratigráfico de Venezuela).

La unidad fue descrita originalmente en el sinclinal de La Puerta, al suroeste de Dabajuro, Estado Falcón; tal como se emplea en Zulia, no se ha designado sección tipo. Sutton (1946) describió arcillitas abigarradas en colores azul, amarillo, verde y rojo; limolitas pardas y areniscas macizas, friables, de colores gris y verdoso claro. La unidad contiene intercalaciones marinas de menor espesor y no contiene lignitos. Young (1960) la subdividió en tres miembros que denominó Poro, Playa y Timoteo, en secuencia ascendente. El inferior consiste de arcillas abigarradas rojas y grises; el intermedio, de arenas grises, subgrauvacas y arcillas; el superior, de arcillas rojas. Sutton (1946) mencionó espesores variables entre 170 y 700 metros. Young (1960)

señaló un espesor de hasta 1.400 metros. El contacto inferior con la Formación Lagunillas se considera como concordante. Sutton (1946) correlacionó la unidad con la Formación La Villa en el Lago de Maracaibo y con la Formación Isnotú en el flanco norte de Los Andes. Se considera que, de ser posible la correlación directa entre las formaciones La Puerta e Isnotú, el término La Puerta, como formación, podría ser invalidado, para solucionar el problema de nomenclatura sinónima con el Grupo La Puerta. <http://www.intevep.pdv.com/~ibc03/>.

### **3.- GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN**

#### **3.1 Génesis, Migración y Entrampamiento del hidrocarburo en la Cuenca del Lago de Maracaibo**

Los problemas de la génesis del petróleo en la Cuenca de Maracaibo, estudiados por (Zambrano et al., 1971), hacen mención a la Formación La Luna como roca madre por excelencia generadora de hidrocarburos, presente en la columna sedimentaria del Occidente.

El área original de la generación primaria de hidrocarburos, se encuentra ubicada en la parte nor-oriental de la cuenca actual, donde tuvo lugar la máxima subsidencia del Eoceno, causando principalmente la maduración de las rocas madres del Cretácico. Basados en reconstrucciones paleoestructurales se postula que los hidrocarburos formados en esa época, migraron hacia el sur – oeste, acumulándose temporalmente a lo largo de una franja paralela a la cocina. A causa del basculamiento de la cuenca en el *Mioceno*, al producirse el levantamiento de la parte nor-este de la cuenca, los hidrocarburos migraron en esa dirección y dieron lugar a las grandes acumulaciones de los tres campos de la Costa Bolívar en formaciones clásticas del Eoceno y Mioceno. Durante esta migración parte del petróleo liviano fue sometido a biodegradación transformándose en petróleo pesado.

El basculamiento de la Cuenca de Maracaibo, provocó además el establecimiento de condiciones favorables para la generación de hidrocarburos en una segunda cocina, restringida inicialmente al extremo sur-occidental de la cuenca en el Mioceno Temprano, y la cual se fue extendiendo gradualmente hacia el noreste, hasta cubrir casi totalmente la cuenca, produciendo así la maduración de las rocas madres cretácicas en la misma. El entrampamiento de hidrocarburos en los sedimentos del Cretáceo, Paleoceno – Eoceno y Oligo – Mioceno en la Cuenca de Maracaibo, está controlado por trampas estructurales, estratigráficas y mixtas.

En términos generales, puede decirse que los accidentes estructurales, son más frecuentes en los yacimientos del Cretáceo, que en los entrampamientos en rocas del Paleoceno – Eoceno, donde se combinan los factores estructurales y estratigráficos.

El área de interés es a nivel del Mioceno, donde las acumulaciones para este período predominan los factores estratigráficos y sedimentológicos sobre los estructurales, tales como: cambios de facies y acuñamientos, dentro de los cuales se encuentran las variaciones de permeabilidad por el aumento del material arcilloso en las arenas, debido al tipo de ambiente sedimentario (aguas llanas costeras, playas, deltas menores y numerosas planicies costeras), así como, adelgazamiento de los cuerpos costeros de arenas en varias direcciones.

### **3.2 Propiedades físicas de los yacimientos del Campo Lagunillas**

#### ***3.2.1 Parámetros petrofísico del Campo Lagunillas***

El desarrollo de la arena neta (ANT) presenta valores que oscilan entre 500 y 900 pies, con un espesor de arena neta petrolífera (ANP) promedio entre 240 y 600 pies en los yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior.

Las arenas son arcillosas, con concentraciones de volumen de arcilla (vshale) que pueden alcanzar valores de hasta 38%. Esto se traduce en reducción de porosidad, la cual puede alcanzar valores inferiores al 20% en algunos pozos. En general, el promedio de porosidad para el área oscila entre 32 y 36%.

En cuanto a la saturación de agua, ésta aumenta en dirección S-N, debido a que es en el norte donde se encuentra la mayor población de pozos y el crudo producido ha sido reemplazado por agua meteórica, lo que ha propiciado la formación de un acuífero que sirve de límite al yacimiento. Hacia el sur, el contacto agua-petróleo se encuentra a mayor profundidad, debido a los altos buzamientos de las capas y al acuñamiento de las mismas contra el Alto de Pueblo Viejo. Por estas razones, encontramos altos cortes de agua en el área norte, variando entre 30% y 45%, mientras que hacia el sur del campo, la saturación de agua ( $S_w$ ) alcanza valores entre 20 y 30% (Tabla 3.1).

<b>CAMPO</b>	<b>ANP (pies)</b>	<b>Porosidad (%)</b>	<b>Saturación Petróleo (%)</b>	<b>Saturación Agua (%)</b>	<b>Permeabilidad (md)</b>
<b>LAGUNILLAS</b>	<b>240-600</b>	<b>32 - 36</b>	<b>66 - 92</b>	<b>20 – 45</b>	<b>600 - 3500</b>

**Tabla 3.1 Propiedades físicas de los yacimientos Laguna y Lagunillas Inferior del campo Lagunillas**

### **3.2.2 Clasificación de los yacimientos por Proyectos, Poes y Reservas**

El Campo Lagunillas se encuentra dividido en 19 proyectos operacionales, de los cuales 15 están sometidos a recuperación por inyección de vapor alternada (I.A.V). Para la manejo y distribución del vapor se subdividieron los proyectos térmicos en dos yacimientos, Laguna (Lagunillas Superior), que abarca los proyectos APRIMARIAS, APLGES, APLGEN, APGLN, T-6, V-7, W-6, W-6 Ext. X-5 Y Lagunillas Superior, con los ARMAR, APRIMARIAS, U-5, U-7, V-5 Y Q-4/R-6. También forman parte de este campo los yacimientos del Eoceno, como son los B-1- área 98, B-1 área 81/82, B-1 área 83/84 y LagInf 71/72. (Figura 3.1 y 3.2)

Las reservas del yacimiento Lagunillas en Libro están compuesta en reservas probadas, probables y posibles de petróleo y Gas, en la tabla 3.2 se tiene como se reflejan la distribución de las mismas en el libro Oficial del M.E.M. y en la Tabla 3.3, se observa la distribución de las misma, para fecha Diciembre 2000.

<b>CATEGORÍA</b>	<b>RESERVAS DE PETRÓLEO (MMBlS)</b>	<b>RESERVAS DE GAS (MMPCN)</b>
<b>PROBADAS</b>	<b>993.1</b>	<b>1400</b>
<b>PROBABLES</b>	<b>1041</b>	<b>-----</b>
<b>POSIBLES</b>	<b>12.5</b>	<b>263</b>

**Tabla 3.2 Reservas Oficiales del Campo Lagunillas**

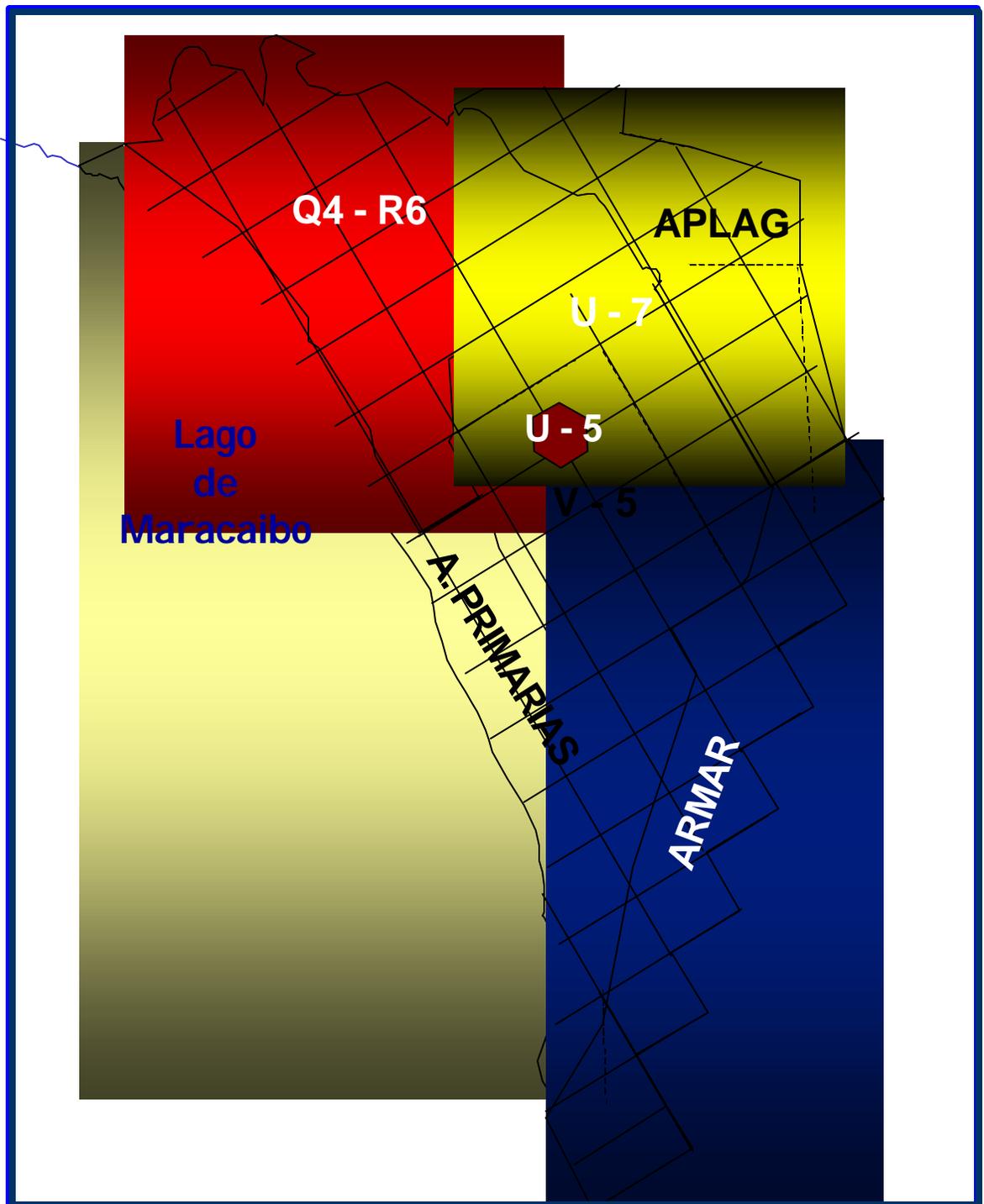


Figura 3.1: Ubicación de los Proyectos Térmicos del Yacimiento Lagunillas Superior

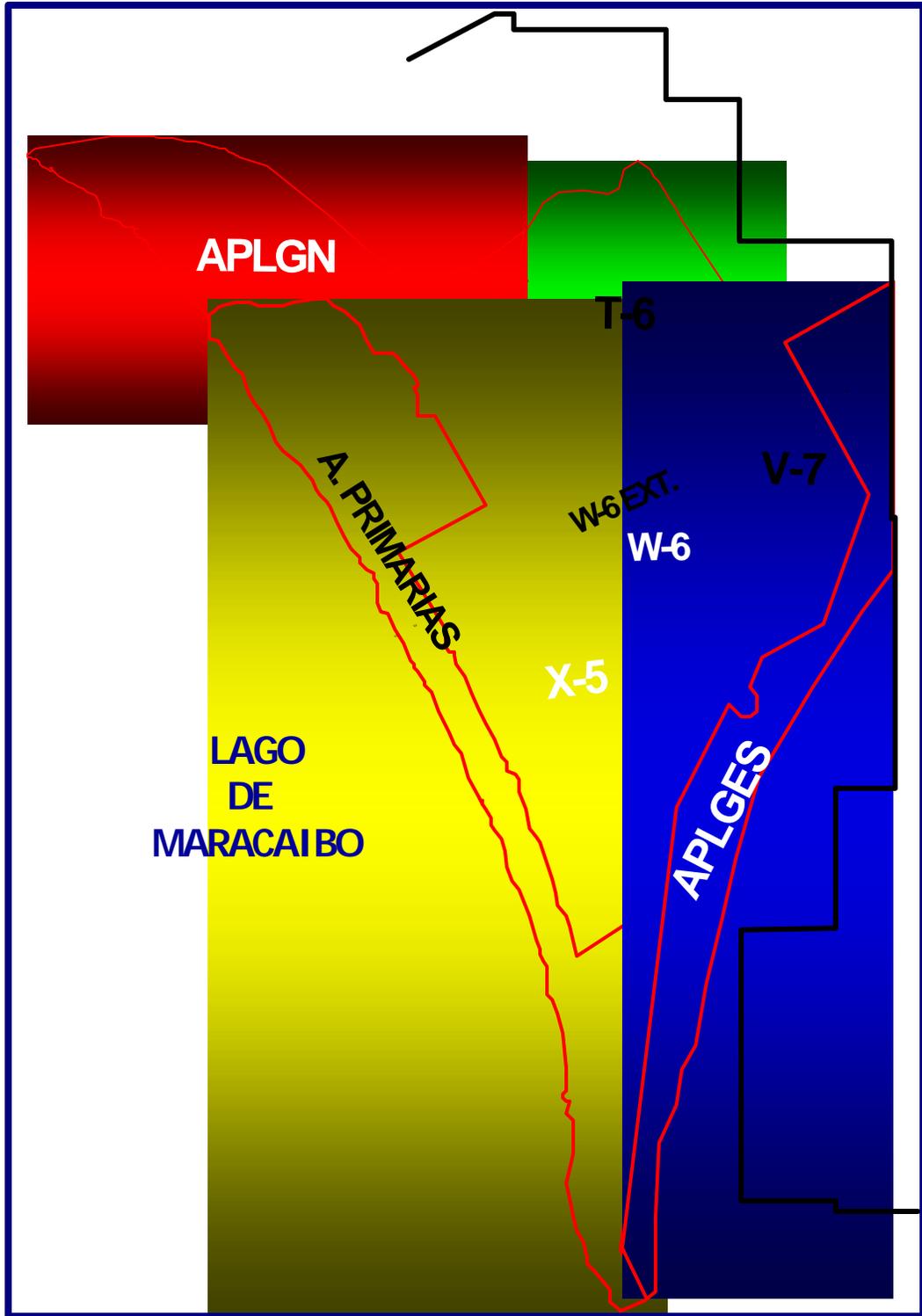


Figura 3.2: Ubicación de los Proyectos Térmicos en el yacimiento Laguna.

En la Tabla 3.3 se muestran las características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y las tasa actuales, estas cifras son tomadas para finales de diciembre del 2001.

CAMPO	YACIMIENTO	PROYECTO	POES MMBN	FACTOR RECOB. %	RES. REC. MMBN	NP MMBN 12/31/2001	RES. REM. MMBN 12/31/2001
<b>LAGUNILLAS</b>	<b>LAGSUP CAMPO</b>	X-5	2310.5	21.3	491	384.5	106.5
		T-6	965.4	32.2	310.4	254.6	55.79
		V-7	1017.1	22.6	230.0	147.2	82.8
		W-6	220.0	47.7	105.0	58.1	46.9
		W-6 EXT	330.1	43.9	145.0	77.6	67.4
		AREA PRIMARIAS	3239.6	8.2	265.6	155.7	109.9
	<b>LAGUNA NORTE</b>	APLGN	751.3	28.3	212.6	23.4	189.2
	<b>LAGUNA ESTE</b>	APLGES	1257.0	8.2	103.1	2.7	100.4
	<b>LAGUNA ESTE-NORTE</b>	APLGEN	426.8	8.2	35.0	8.1	26.9
	<b>LAGINF CAMPO</b>	AREAS PRIMARIAS	1693.0	26.6	450.3	415.3	35.0
		Q-4/R-6	1711.0	26.2	449.0	402.8	46.2
		U-5	21.9	61.6	13.5	10.9	2.6
		U-7	602.4	28.4	171.0	146.7	24.3
		V-5	624.5	26.6	166.0	143.2	22.8
	<b>LAGINF 71/71</b>	LAGINF 71/72	130.6	15.7	20.5	20.0	0.6
	<b>LAGINF ARMAR</b>	LAGINF ARMAR	634.6	15.6	99.0	0.0	99.0
	<b>B-1 AREA-97</b>	B-1 AREA-98	6.2	4.8	0.3	0.1	0.2
	<b>B-1 AREA-81/81</b>	B-1 AREA-81/82	153.5	5.9	9.1	6.9	2.2
	<b>B-1 AREA-83/83</b>	B-1 AREA-83/84	434.3	9.5	41.3	39.5	1.8

**TABLA 3.3 Características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y las tasa actuales tomadas para finales de diciembre del 2001del Campo Lagunillas.**

### 3.2.3 Comportamiento de Producción del Campo Lagunillas

El Campo Lagunillas inicia su producción en el año de 1926 hasta 1938 con un total promedio de 180 pozos activos y una producción promedio 70 Mbls/día. Para comienzo de 1939 se cierran todos los pozos hasta 1946, observamos en la Figura 3.3, aunque no se posee información de producción diaria, el acumulado de petróleo se incrementa de 250 Mbls a 500 Mbls. Entre lo años 1955 hasta 1974 se obtienen las mayores tasas de producción, estando en el orden de 170 Mbls diarios, debido a la mayor cantidad de pozos activos para el campo ubicándose en el orden de 140 pozos productores.

Para los años de 1978 a 1990 la producción se mantiene en el orden de 120 Mbls con el mismo número de pozos activos, declinando unos 40 Mbls entre los años 1991 a finales de 2001. Actualmente la producción del campo se ubica aproximadamente en 64 Mbls (Fig. 3.3).

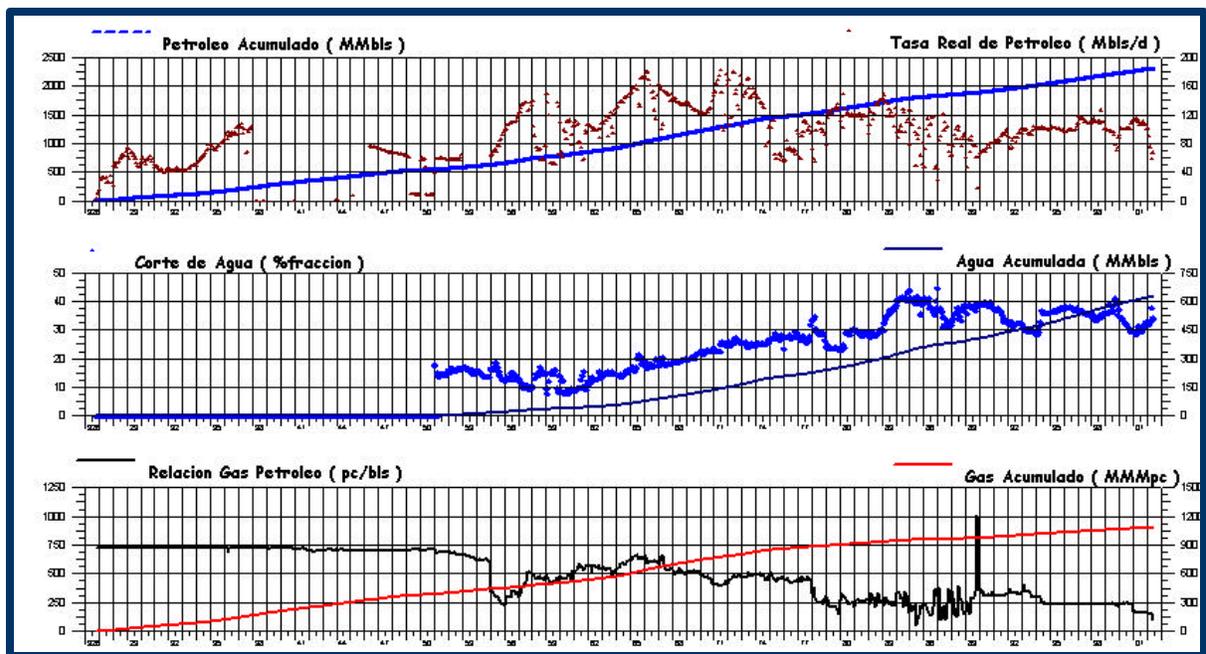


Figura 3.3 Comportamiento de Producción del campo Lagunillas

### 3.3 Propiedades físicas de los yacimientos del Campo Tía Juana

#### 3.3.1 Parámetros petrofísico del Campo Tía Juana

En Tabla 3.4 se presentan los valores de porosidad, permeabilidad, saturaciones de agua, saturaciones de petróleo y los espesores de ANP correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior, las resistividades varían con un máximo de 1000 ohm.

<b>CAMPO</b>	<b>ANP (Pies)</b>	<b>Porosidad %</b>	<b>Saturación Petróleo (%)</b>	<b>Saturación Agua (%)</b>	<b>Permeabilidad</b>
<b>Tía Juana</b>	<b>25-290</b>	<b>26 - 38</b>	<b>46 - 85</b>	<b>8 – 45</b>	<b>200 - 12000</b>

**TABLA 3.4 Propiedades físicas del yacimiento Lagunillas Inferior del Campo Tía Juana. (Tomado de la base de datos de la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado)**

#### 3.3.2 Clasificación de los yacimientos por Proyectos, Poes y Reservas

El Campo Tía Juana se encuentra dividido en 28 proyectos operacionales, de los cuales 21 están sometidos a recuperación por inyección de vapor alternada (I.A.V). Para la manejo y distribución del vapor se subdividieron los proyectos térmicos en dos yacimientos, Tía Juana Principal, que abarca los proyectos APRIMARIAS, APTJN, B/C-3, D/E-3, D-2/E-2, ASOM, C3/C-4, C2/3/4, G-2/3 Y G-2/3 Ext. Y Tía Juana del Este con los proyectos C-7, C-5 Ext., C-5, D-6, APTJC, E-8, F-7, H-6, H-7, J-7, M-6 Alterno, M-6 Continuo. También forman parte de este Campo los yacimientos del Eoceno, como son los B-1- Área 21, B-1 Área 31, B-1 Área 39 y los Eoceno B6-RD- 515 ( Lago y Tierra) el cual es compartido con Tía Juana Lago y B-6 Campo en el área cercana al Campo Cabimas. En la Tabla 3.5 se muestran las características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y tasas actuales, cifras tomadas hasta el 31/12/2001 y en la Tabla 3.6, como se reflejan en el libro Oficial del M.E.M.

CAMPO	YACIMIENTO	PROYECTO	POES MMBN	FACTOR RECOB. %	RES. REC. MMBN	NP MMBN 12/31/2001	RES. REM. MMBN 12/31/2001	
TIA JUANA	B--1 AREA 21	B--1 AREA 22	20.5	27.8	5.7	5.2	0.5	
	B-1 AREA 31	B-1 AREA 31	112.1	23.7	26.6	25.4	1.2	
	B-1 AREA 39	B-1 AREA 39	5.5	20.7	1.1	1.0	0.2	
	B-6 RD515 (COMP. TJL)	B-6 RD515 (COMP. TJL)	75.5	19.0	14.3	11.4	3.0	
	LAGINF ARMAR ESTE	APTJE		810.0	20.4	165.2	17.7	147.6
		APTJC		210.9	20.4	43.0	4.6	38.4
		ASOM		260.0	20.4	53.0	5.7	47.4
	LAGINF ARMAR PRINCIPAL	APTJN		262.0	10.8	28.3	4.7	23.6
		APTJC		150.1	10.8	16.2	2.7	13.5
		APRIMARIAS		468.5	10.8	50.6	8.4	42.2
		D-6		574.0	26.9	154.3	103.4	50.8
	LAGINF CAMPO ESTE	E-8		147.0	26.9	39.5	26.5	13.0
		F-7		915.0	26.9	246.0	164.9	81.1
		C-5		10.0	26.9	2.7	1.8	0.9
		C-5 EXT.		550.0	26.9	147.8	99.1	48.7
		C-7		733.1	26.9	197.1	132.1	64.9
		H-6		127.0	26.9	34.1	22.9	11.2
		H-7		98.0	26.9	26.3	17.7	8.7
		J-7		731.0	26.9	196.5	131.7	64.8
		M-6ALT.		487.0	26.9	130.9	87.8	43.1
		M-6CONT.		575.0	26.9	154.6	103.6	50.9
		ASOM		250.1	26.9	67.2	45.1	22.1
		B/C-3		400.0	24.6	98.4	90.4	7.9
		LAGINF CAMPO PRINCIPAL	C-2/3/4		67.0	24.6	16.5	15.2
	C-3/C-4			80.0	24.6	19.7	18.1	1.6
	D/E-3			573.0	24.6	140.9	129.6	11.3
	D-2/E-2			436.0	24.6	107.2	98.6	8.6
	G-2/3			717.0	24.6	176.3	162.1	14.2
	G-2/3 EXT.			284.0	24.6	69.8	64.2	5.6
	APRIMARIAS			1345.8	24.6	330.9	304.3	26.6

**TABLA 3.5 Características de reservas, factores de recobros, reservas remanentes, petróleo acumulado y tasas actuales tomadas para finales de diciembre del 2001 del Campo Tía Juana.**

<b>CATEGORIA</b>	<b>RESERVAS DE PETROLEO (MMBls)</b>	<b>RESERVAS DE GAS (MMPCN)</b>
<b>PROBADAS</b>	<b>855.2</b>	<b>968.5</b>
<b>PROBABLES</b>	<b>2047.6</b>	<b>174.6</b>
<b>POSIBLES</b>	<b>----</b>	<b>----</b>

**TABLA 3.6 Reservas oficiales del Campo Tía Juana**

### **3.3.3 Comportamiento de Producción del Campo Tía Juana**

El Campo Tía Juana, inicia su producción en el año de 1955 hasta 1964 con un total promedio de 900 pozos activos y una producción promedio 75 Mbls/día. Para comienzo de 1965 hasta finales de 1968 la producción se incrementa hasta 120 Mbls con un total de pozos productores de 1100 y comienza a responder los pozos al efecto del inicio de la Inyección de Vapor en el campo. En 1969 se observa la mayor producción del Campo con 240 Mbls y 1150 pozos productores hasta finales de 1977 (Fig.3.4). Desde 1978 y finales de 1990 se tiene el mayor desarrollo del Campo con un total de 1800 pozos productores. Entre los años de 1991 y 2001, el control de producción impuesto por mercado mantiene la producción del campo Tía Juana oscila en el orden de 80 Mbls. Actualmente la producción del campo se ubica aproximadamente en 57 Mbls.

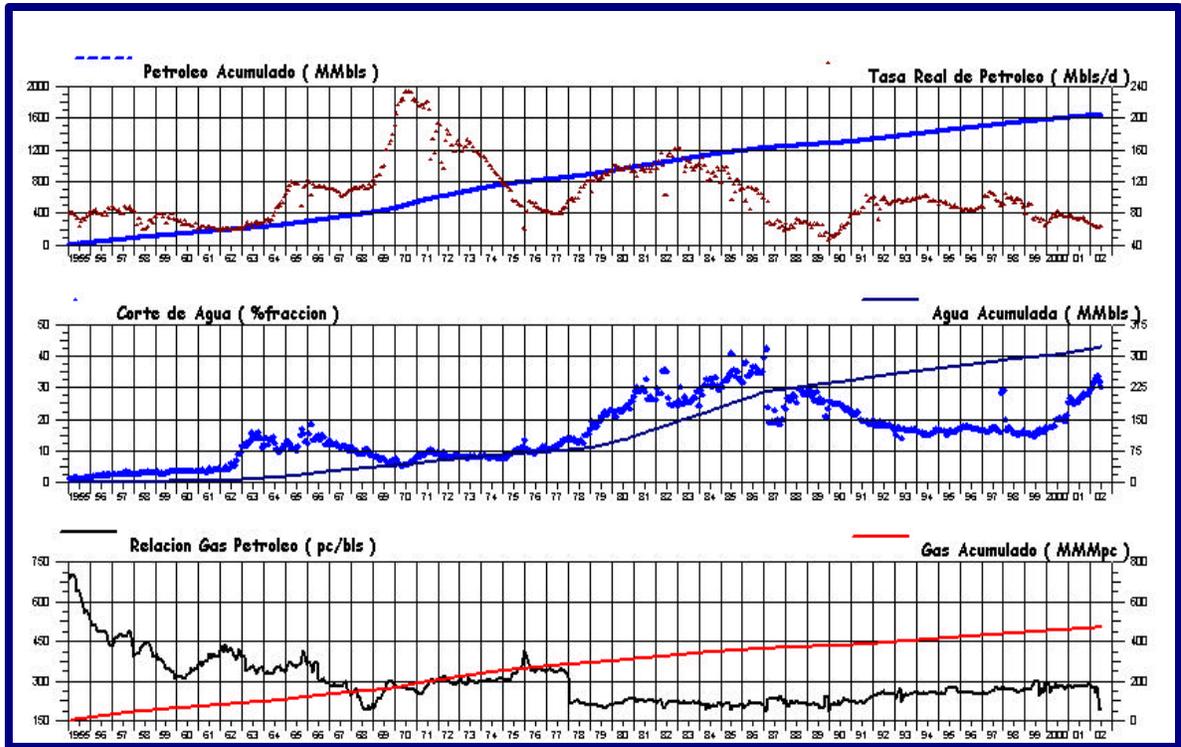


FIGURA 3.4 Comportamiento de Producción del campo Tía Juana

## **4.- VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE DATOS SÍSMICOS Y DE POZOS.**

### **4.1. Adquisición y procesamiento de los datos sísmicos**

La exploración sísmica petrolera consiste básicamente en la adquisición, procesamiento e interpretación de datos sísmicos originados por una fuente de energía (explosivos, vibradores, etc.) y registrados por receptores (geófonos, hidrófonos, etc.). Este dispositivo de emisión – recepción se aplican en ambientes terrestres, marinos y lacustres.

La adquisición de datos sísmicos puede ser bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). En los levantamientos sísmicos 2D los arreglos de receptores se colocan paralelos a la fuente de energía utilizada. Típicamente, las líneas están separadas entre 1.0 y 3.0 Km. (sísmica de detalle en área de explotación), permitiendo inferir las megas – estructuras o características estructurales mayores. En los levantamientos sísmicos 3D los arreglos de receptores se colocan perpendicular a la fuente de energía. Típicamente las líneas están separadas entre 15-50 m. La utilidad principal en levantamiento sísmico 3D, es obtener un volumen de datos tridimensionales que permite realizar una interpretación sísmica más detallada al compararse con una interpretación de un levantamiento 2D.

La dirección y configuración geométrica de grabación o disparo de las líneas sísmicas en levantamientos 2D, se planifica teniendo en consideración los rasgos estructurales que se van a investigar, las características fisiográficas de las zonas y la profundidad del objetivo en el subsuelo. Mientras que las líneas de receptores, fuente de energía en levantamientos 2D, siempre debe colocarse perpendicular a los rasgos estructurales principales. El mallado de la adquisición del levantamiento 3D, puede variar dependiendo del grado de detalle que se sugiera lograr. Pero una vez establecido para uno, la separación entre fuentes de energía y receptores conserva una relación constante. Generalmente el mallado de las líneas es completamente regular, sin embargo, dependiendo de los objetivos del estudio se puede colocar algunas líneas que no conserven la dirección del mallado regular.

La ventaja de la adquisición sísmica 3D es la poca separación entre las líneas que conforman el mallado sísmico, lo que hace posible detectar, delinear y ocasionalmente, resolver eventos geológicos en el subsuelo que serían imposibles con datos 2D.

La siguiente etapa es donde los registros sísmicos obtenidos en el campo requieren ser procesados siguiendo ciertos modelos y criterios para poder utilizarlos en la interpretación. El procesamiento de datos sísmicos constituye un proceso complejo que involucra el reordenamiento de los datos, una serie de correlaciones, filtros, análisis de velocidades, correcciones, etc. Se realiza en centros especiales de procesamiento mediante el uso de computadoras de gran capacidad de manejo de datos profesionales.

A continuación se describen la adquisición y el procesamiento de los datos sísmicos obtenidos en los campos Tía Juana y Lagunillas.

#### ***4.1.1 Levantamientos Sísmicos 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana***

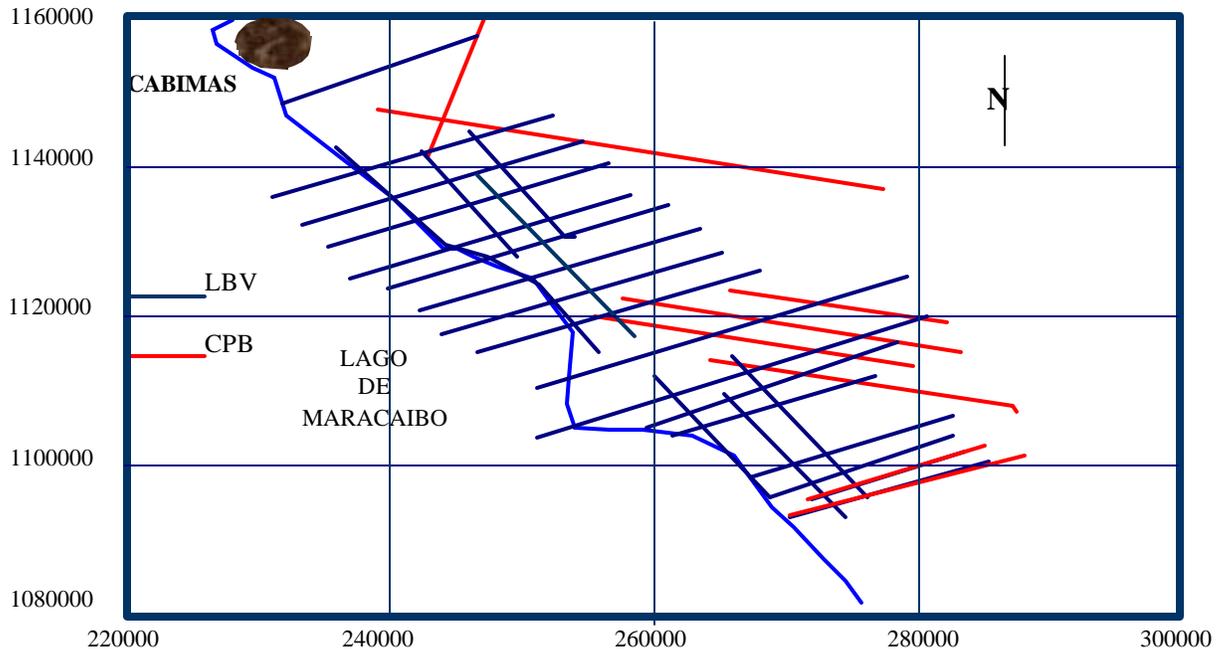
##### ***4.1.1.1 Adquisición del levantamiento sísmico 2D, LBV-95C y CPB-95C.***

Los parámetros de adquisición de los Levantamientos Sísmicos 2D para los campos Lagunillas y Tía Juana, correspondiente al proyecto ***Lagunillas – Bachaquero – Cabimas – Pueblo Viejo***, fueron ejecutados por la empresa EXGEO C.A.(1995), para MARAVEN ex-filial de Petróleos de Venezuela S.A. Del total de kilómetros del proyecto (643,5 Km.), fueron grabado, 579 Km. en 1995 y 64 Km. en 1996. La separación de las líneas sísmicas es de 3Km, corresponde a un mallado irregular y dirección NE-SO; NNO-SSE y NO-SE

De las 30 líneas sísmicas registradas, 22 pertenecientes al estudio ***Lagunillas – Bachaquero***, denominadas (***LBV\_95C***) y 8 pertenecen al estudio ***Cabimas – Pueblo Viejo***, denominadas (***CPB\_95C***). (Fig. 4.1).

El levantamiento se desarrollo a través de áreas urbanas, autopistas, carreteras, campos petroleros y aguas del lago de Maracaibo. Para la adquisición de datos sísmicos se utilizó el equipo Sercel SN 388 con 240 canales. Este trabajo se realizó en dos etapas: la primera empleándose dos fuentes de energía de manera simultánea, una con explosivos y otra con vibradores con barridos aleatorios. En la segunda se combinó vibradores y cañones de aire.

Las 22 líneas que se adquirieron del levantamiento *Lagunillas - Bachaquero (LBV-95C)* fueron registradas utilizando el cable de bahía en aguas someras (Shallow Water) usando como fuente de energía cañones de aire, las 8 líneas correspondientes al levantamiento sísmico *Cabimas - Pueblo Viejo (CPB-95C)* fueron registradas usando como fuente de energía explosivos.



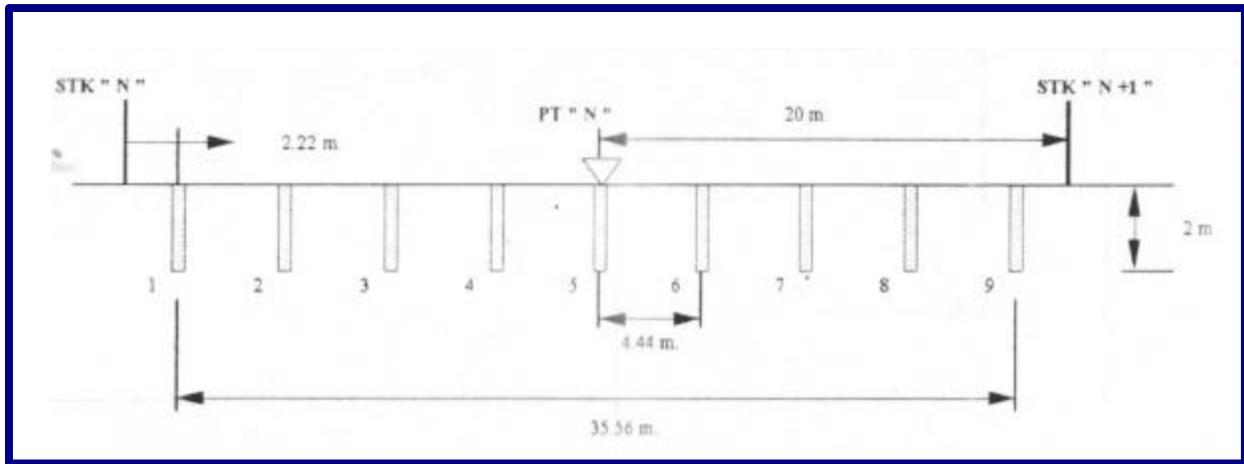
**FIGURA 4.1** Líneas sísmicas correspondiente al levantamiento 2D del proyecto Lagunillas Bachaquero(LBV) Cabimas-Pueblo Viejo (CPB) grabadas en 1995.

### Parámetros de Grabación utilizado en el levantamiento sísmico 2D

#### a) Explosiva.

Distancia entre PT	40 mts.
Numero de Pozos	9 huecos
Profundidad	2 mts de profundidad
Cantidad de carga:	250 gr/pozo
Intervalos de Pozos	6.66mts
Tipo de Arreglo	Lineal centrado entre estacas

**TABLA 4.1.** Parámetros de grabación con fuente explosiva del Levantamiento sísmico 2D de los campos Tía Juana y Lagunillas.



**FIGURA 4.2** Arreglo de Fuente, tipo explosivo del Levantamiento sísmicos 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).

***b) Fuente Vibratoria***

Distancia entre PV	40 mts
Tipo de Vibrador	Mertz – 27
Frecuencia de Barrido	10-80 Hz
Tipo de Barrido	Random (Polinomial )
Longitud de Barrido	20-12 seg
Drive de Vibrador	40% - 80%

**TABLA 4.2.** Parámetros de grabación con fuente vibratoria del Levantamiento sísmico 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).

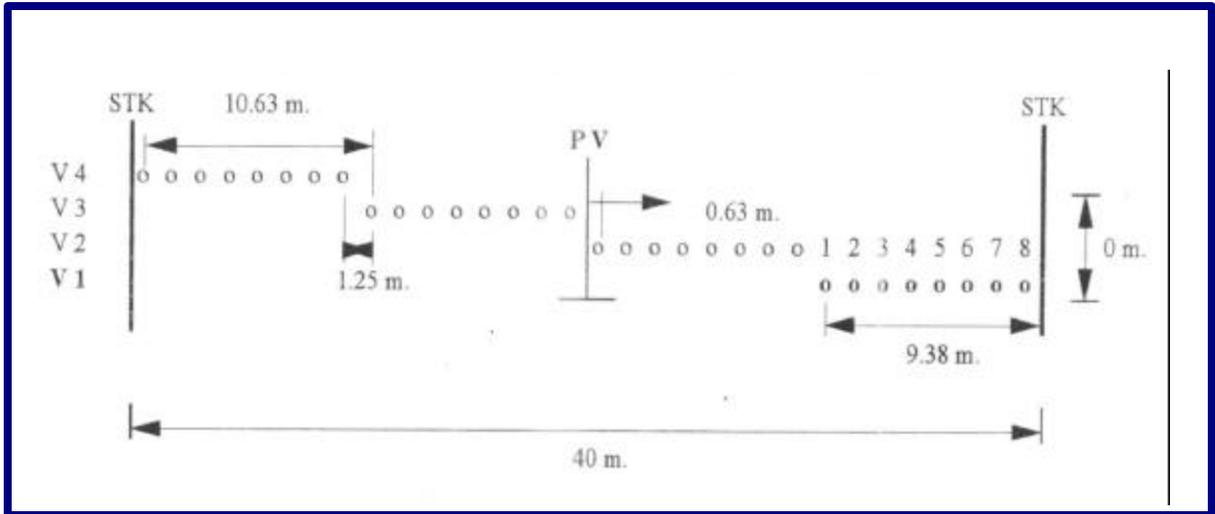


FIGURA 4.3 Arreglo de Fuente, Puntos de Vibración utilizados en el levantamiento sísmico 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).

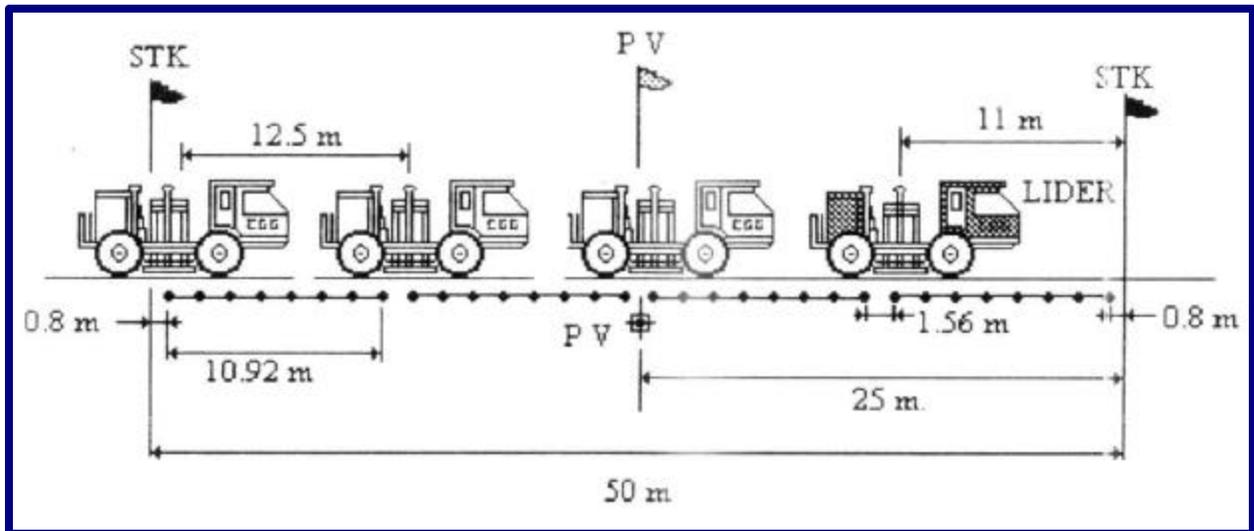


FIGURA 4.4 Esquema del Punto de Vibración de las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).

### Parámetros de Tendido del Levantamiento

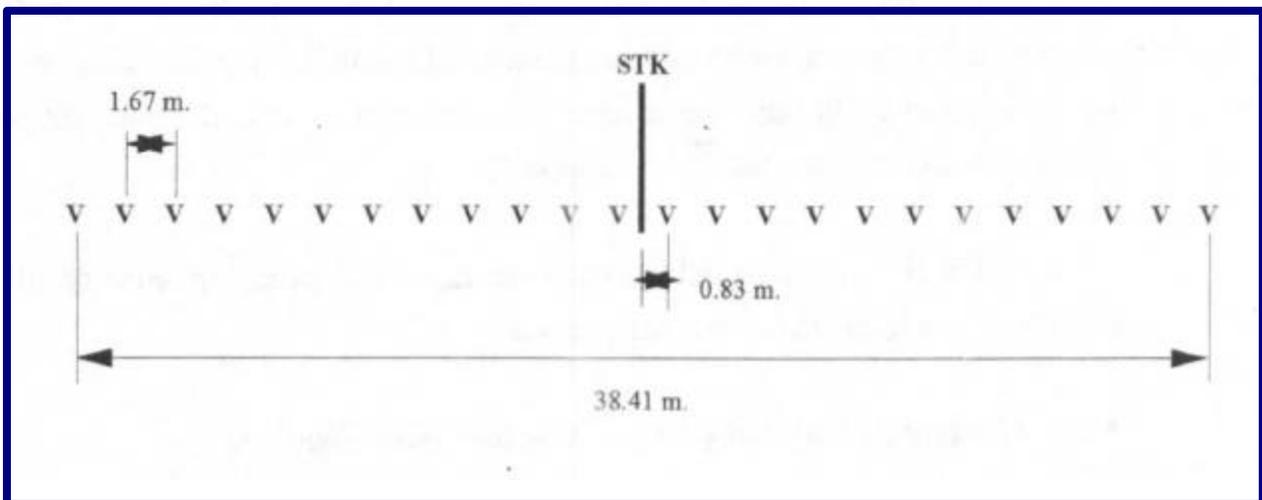
Números de canales	240
Ventana	360 mts (8 de gap) entre canal 120 y 121
Intervalo de traza	40 mts
Dimensión del tendido	4940 – 180 – 0 – 180 – 4940 mts
Tipo del tendido	Roll – on y Roll – off

**TABLA 4.3. Parámetros del tendido utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).**

### Parámetros de Receptores utilizados en el Levantamiento

Tipo	SM – 4U
Números de Geófonos/Trazas	24
Frecuencia Natural	10 Hz.
Distancia entre Geófonos	1.67 mts
Tipo de arreglo	lineal centrado entre estacas.

**TABLA 4.4. Parámetros de los receptores utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).**



**FIGURA 4.5 Arreglo de Fuente, tipo explosivo de las líneas sísmicas 2D de los campos Lagunillas y Tía Juana (Exgeo et al., 1995).**

### Parámetros del Instrumento

Tipo	SN 388
Rata de Muestreo	2 ms
Tiempo de escucha	6 seg
Filtro Corte Bajo	Fuera
Filtro Notch	Fuera
Ganancia de Preamplificador	24 db.

**TABLA 4.5. Parámetros del instrumento utilizadas en las líneas sísmicas 2D de los Campos Lagunillas y Tía Juana**

#### Para Explosivos

- Filtro Antialias: Fase mínima con frecuencia de 125 Hz, para canales de datos y Auxiliares 1.2 y 3.0

#### Para Vibradores

- Filtro Antialias: Fase mínima con frecuencia de 125 Hz, para canales de datos y Auxiliar 1 (Barrido piloto).
- Operador de Correlación: Auxiliar una fase mínima.
- Sumación: Diversidad con 64 ventanas.

Los datos sísmicos obtenidos se consideran en líneas generales de buenos a regulares, la variación de calidad de los resultados se pudo observar que las secciones muestran reflectores fuertes y continuos en profundidades someras, lo que indica que en profundidad no se resaltan los horizontes, aun cuando el objetivo era profundo (Fig. 4.6). Debido a que el ruido ambiental influyo en la adquisición, la relación señal / ruido varió de una línea a otra. En los monitores del campo no siempre se aprecia la señal reflejada, especialmente cuando la fuente es vibradores, acentuándose en las zonas urbanizadas, como la ciudad de Cabimas.

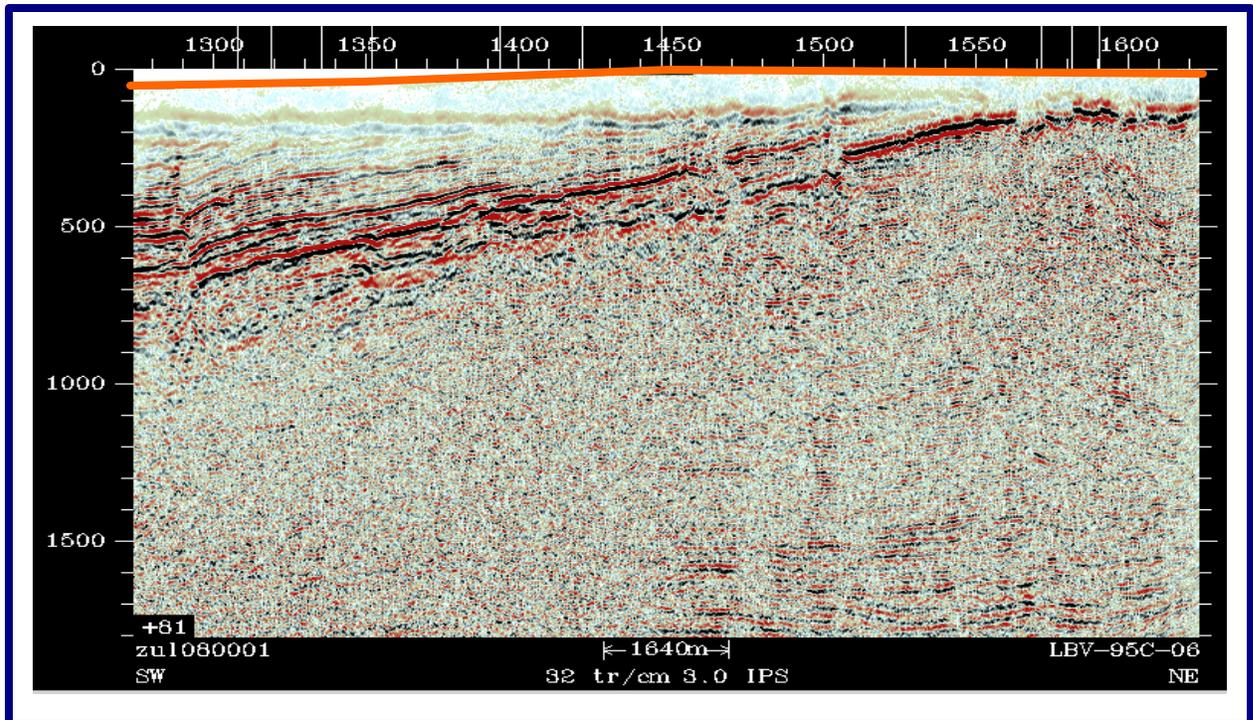
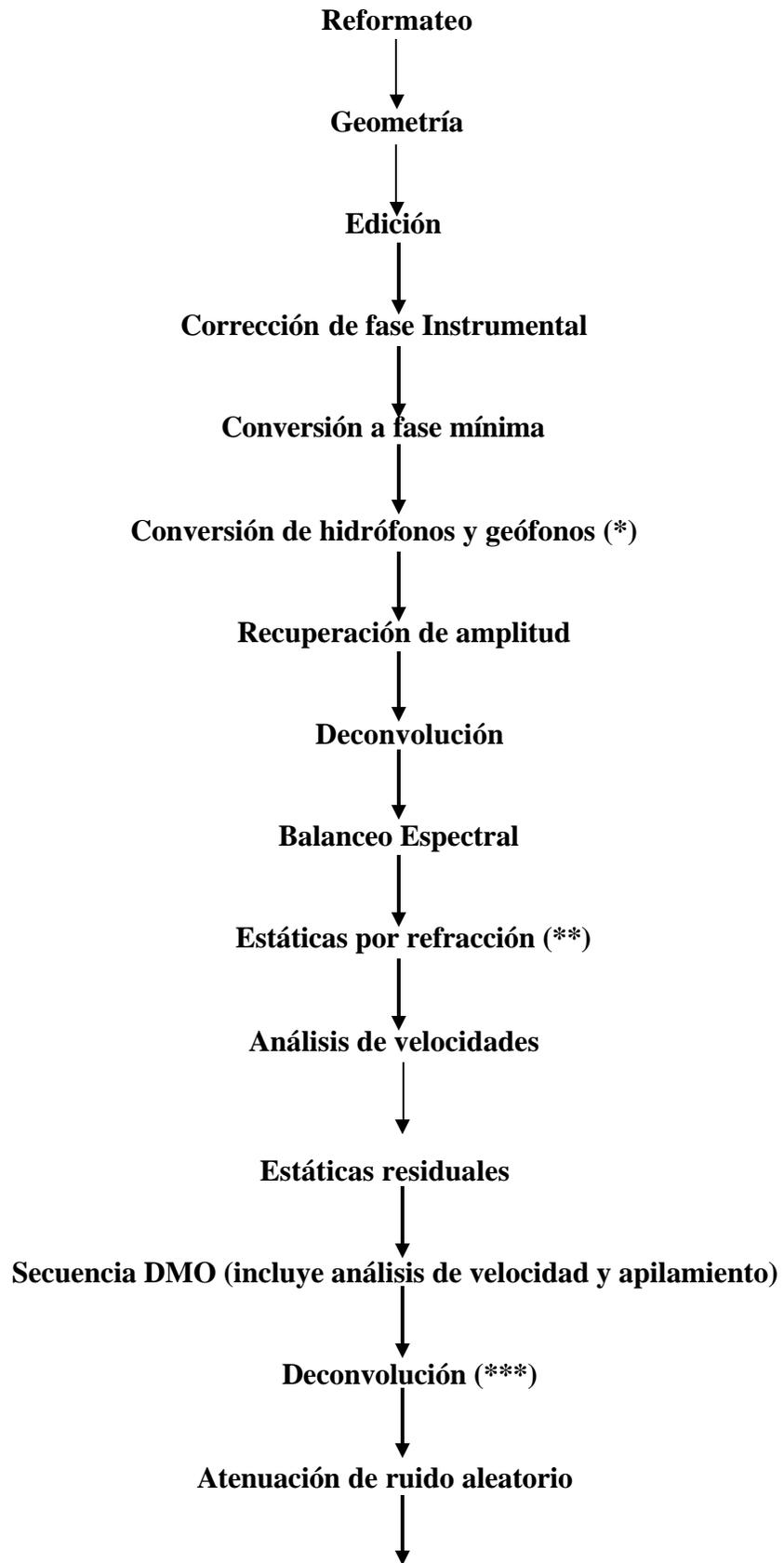


FIGURA 4.6 Sección sísmica LBV-95C-06, muestra la calidad buena a regular de los datos sísmicos a niveles someros y pobre a niveles profundos

#### 4.1.1.2 Procesamiento del levantamiento sísmico 2D, LBV-95C y CPB-95C.

Al igual que en la adquisición, el procesamiento de los datos sísmicos de los campos Lagunillas y Tía Juana correspondiente al proyecto *Lagunillas – Bachaquero – Cabimas-Pueblo Viejo*, fue realizado por la compañía contratista EXGEO C.A. (1996), para MARAVEN ex-filial de Petróleos de Venezuela S.A..

La secuencia de procesamiento empleada en las líneas terrestres y marinas fue básicamente la misma.



## **Transformación de distancia entre CDP de 25m a 20m (\*) y empalme de las líneas**



(\*) aplicadas en las líneas marinas

(\*\*) aplicadas en las líneas terrestres

(\*\*\*) aplicadas en líneas marinas y terrestres

A continuación se detallara cada uno de los pasos anteriormente mencionados:

### ***4.1.1.2.1 Reformato***

La información sísmica llega de la cuadrilla grabada en cartuchos tipo 3480, en formato SEGD demultiplexado. El tiempo de registro fue de 6seg. y el paso de muestreo de 2 mseg. Se hizo la transcripción de la data del formato SEGD al formato interno CGG 32 bits y el remuestreo de 2ms a 4ms.

### ***4.1.1.2.2 Geometría***

El archivo de geometría de las líneas fue leído y extraído del “header” de las trazas a partir de las cintas de campo. Este archivo fue chequeado y siempre que sea necesario fue modificado de acuerdo a los comentarios presentes en el reporte del observador. Una vez apilada y chequeada la geometría, se procedió a aplicar las coordenadas relativas a cada traza a fin de actualizar las distancias P.T. receptor y la numeración de CDP.

### ***4.1.1.2.3 Edición***

La edición consistió en la detección y eliminación de “spikes”, trazas muertas y trazas ruidosas a partir de los comentarios en el reporte de campo y de manera automática, por medio de un programa que trabaja con la comparación de los valores de amplitud de las trazas. Los valores anómalos son ploteados y posteriormente editados.

#### ***4.1.1.2.4 Corrección de fase Instrumental***

Tanto para la data vibroseis de la cadena instrumental como para la data dinamita y “air gun”, se eliminó la distorsión de fase provocada por la cadena instrumental. La respuesta impulsiva de la cadena instrumental fue obtenida a partir de un pulso interno de un test de campo (para la dinamita) y por medio de la autocorrelación del sweep (para vibradores).

#### ***4.1.1.2.5 Conversión a fase mínima***

Este estudio, como ya mencionamos anteriormente, comprende tres tipos distintos de fuentes: cañones de aire, dinamita y vibradores, muchas veces en la misma línea. Para evitar un eventual “shift” en la data en el apilamiento debido a un cambio de fuentes, se decidió hacer la conversión de la data vibro para que se comporte como la data dinamita. Se optó por convertir la data a dinamita debido a que el proyecto existente en la misma área (Zulia Oriental-91C) se realizó con fuente explosiva.

#### ***4.1.1.2.6 Conversión de Hidrófonos a Geófonos***

En las líneas marinas que fueron posteriormente empalmadas con la parte terrestre, se hizo la conversión de los hidrófonos a geófonos, a través de la aplicación de un “phase Shift filter” de otra línea 90 grados. El ángulo negativo crea un retardo en la onda, haciendo un shift del pico positivo a tiempos más grandes.

#### ***4.1.1.2.7 Recuperación de Amplitud***

Para compensar la atenuación debido a la divergencia esférica y absorción, fueron realizadas pruebas con distintas curvas de recuperación en función del tiempo, concluyendo que la más apropiada para este estudio fue  $T/250^{**}1.5$ . Con esta función de recuperación se logra compensar dicha atenuación y preservar las amplitudes relativas de las trazas.

#### ***4.1.1.2.8 Deconvolución***

Las pruebas de deconvolución se hicieron básicamente en la línea LBV-95C-30. Primeramente se analizaron algunos puntos de tiro a lo largo de la línea y sus respectivas autocorrelaciones, para así obtener las características de la señal a deconvolucionar.

En la secuencia se efectuaron pruebas de deconvolución monocanal sobre puntos de tiros con diferentes longitudes del operador, “grap”, una y dos ventanas. Los resultados fueron comparados a través del ploteo de los PT y sus respectivas autocorrelaciones.

Para obtener una verdadera estimación multicanal se optó por aplicar una deconvolución “spike” consistente con la superficie, la cual proporciona una estimación de filtros por grupos de filtros fuentes, filtros receptores, filtros de receptores comunes y filtros de offsets comunes.

Los parámetros escogidos para la deconvolución fueron:

Longitud del operador: 300MS  
Ruido Blanco: 0.1%  
Ventanas de Calculo: 0000-1500 MS  
1200-4000 MS

#### ***4.1.1.2.9 Balanceo Espectral***

A partir del análisis del comportamiento del espectro de frecuencia sobre algunos puntos de tiro de verificación, así como de comparaciones efectuadas a nivel de apilamiento, se decidió por la aplicación de un balanceo espectral.

La banda de frecuencia utilizada fue de 10Hz-80Hz, entre 0-6000ms. El programa empleado para el balanceo espectral actúa como una deconvolución de amplitudes sin tocar la fase, ecualizando el espectro de frecuencia.

#### ***4.1.1.2.10 Estática por refracción***

Las estáticas de refracción fueron calculadas por el método GARNER y consistió básicamente en: 1) Creación de un archivo conteniendo los tiempos de las primeras llegadas de cada traza. El picking se hace dentro de una ventana definida a partir de un mute. El control de calidad de los picking, así como cualquier modificación necesaria se hizo de manera interactiva, es de suma importancia considerar siempre el mismo refractor. 2) Una vez que se tiene el archivo de los tiempos de las primeras llegadas chequeado, se procede a la creación del archivo de estáticas por refracción.

El programa aplica una edición automática de los picking malos o anómalos y luego se calcula un modelo geológico de superficie. 3) Después de calculadas las estáticas se controlaron los valores de estas en cada una de las interacciones con las demás líneas.

Los parámetros utilizados en el programa fueron:

Velocidad de Weathering = 1000 m/s.

Velocidad de corrección = 2000 m/s.

Se optó por aplicar estáticas por refracción solamente en la parte terrestre, en las líneas marinas se aplicó estáticas por elevación y después, a nivel de apilamiento, se aplicó un shift para compensar esta diferencia.

#### ***4.1.1.2.11 Análisis de Velocidades***

En este estudio se efectuaron tres análisis de velocidades para cada línea como se detalla a continuación:

- a) Un primer análisis de velocidad se hizo cada 2 Km. Con estas velocidades se hizo un apilamiento preliminar y se calcularon las estáticas primeras residuales.
- b) Después de calculadas, aplicadas las estáticas residuales se hizo un segundo análisis de velocidad en las líneas, cada 1 Km.
- c) Después del cálculo de las estáticas segundas residuales y del proceso DMO se analizaron por tercera vez las velocidades, a cada 1 Km.

#### ***4.1.1.2.12 Estáticas Residuales***

Se hicieron dos pasos de cálculo de estáticas residuales consistentes en superficie, utilizándose todas las trazas. El programa empleado selecciona de forma automática los mejores eventos dentro de la ventana escogida en base a su amplitud y continuidad espacial. En una segunda etapa se calculó las correcciones residuales para cada punto de tiro y estaciones.

La ventana seleccionada para el cálculo de las residuales no fue siempre la misma para todas las líneas, dependiendo de la complejidad y disposición de los eventos en cada una de ellas. El rango de frecuencias utilizado en el primer paso fue de 12 Hz – 40Hz. Y el segundo paso fue de 12 Hz – 50 Hz. Los valores de estáticas calculados para puntos de tiro y estaciones fueron generalmente de poca magnitud.

#### ***4.1.1.2.13 Secuencia DMO***

El programa DMO desarrollado a partir del algoritmo Kirchhoff permite remover los efectos de las pendientes sobre el campo de velocidades, actuando como una migración parcial antes del apilamiento, a nivel de planos offsets. El número de planos offsets utilizados en este estudio fue de 60. Una vez hecho el DMO se picaron nuevas velocidades y el apilamiento DMO resultante presentó grandes mejoras, con los eventos mejor definidos, con mas continuidad y una data mas pura.

#### ***4.1.1.2.14 Deconvolución***

En las líneas marinas y terrestres, se hicieron pruebas de deconvolución predictiva después del apilamiento DMO, con GAPS distintos. Después de analizar los apilamientos con deconvolución aplicada y sus respectivos autocorrelaciones se decidió aplicar una deconvolución post-apilamiento con los siguientes parámetros:

Longitud del operador: 200 ms  
GAP: 28 ms  
Ruido Blanco: 1.0%  
Ventanas: 0000-1500 ms.  
1200-4000 ms.

#### ***4.1.1.2.15 Atenuación de Ruido Aleatorio***

La atenuación de ruido aleatorio se hizo en el dominio FX, por medio de un programa que lo atenúa en una ventana espacio-tiempo sin efectuar la coherencia espacial de los eventos. En las líneas empalmadas, para reducir el efecto de reverberación en la parte marina, se empleo un “ADD BACK” de 70%, o sea se preservó el 70% de la traza inicial.

#### ***4.1.1.2.16 Transformación de Distancia entre CDP de 25m a 20m y empalme de las líneas.***

Las líneas marinas tienen un espaciamiento entre los CDP de 25m. Para poder empalmar bien la parte marina con terrestre, la cual presenta 20m entre CDP, hubo la necesidad de convertir la distancia entre líneas de 25m entre CDP a 20m en la parte marina.

Esta conversión se hizo por medio del programa “INPOL”, el cual crea trazas haciendo la interpretación entre las trazas de entrada mas cercanas. La interpolación sigue los buzamientos de los eventos, y las trazas de salida tienen un espaciamiento regular, en este caso, 20m. Fue necesario hacer una renumeración de los CDP en la parte marina y de aplicar un shift de aproximadamente 20ms en las líneas, una vez que en la parte marina se utilizaron estáticas por elevación y en la parte terrestre estática por refracción. Cabe destacar que el numeración de los P.T./P.V. se mantuvo igual a la de campo, tanto para la parte terrestre como marina.

#### ***4.1.1.2.17. Migración***

La migración utilizada en este estudio fue de tipo diferencias finitas, en el dominio de la frecuencia (F,X). Sobre el apilamiento final se efectuaron pruebas utilizando el 90%, 100% y 110%, de las velocidades DMO: Donde se decidió migrar las líneas terrestres con el 100% de las velocidades DMO y para las líneas que son empalmadas (marina+terrestre) se utilizó el 90%. Cabe destacar, que las líneas con parte marina y terrestre fueron empalmadas a nivel de apilamiento DMO, y fueron migradas ya empalmadas.

#### ***4.1.1.2.18 Filtro y Ecuilización de Traza***

Después de efectuados los análisis de frecuencias y pruebas de longitud del operador, se eligió para la presentación final de la data apilada y migrada:

AGC = 500 ms de 0-2000 ms

1000 ms de 2000-6000ms

Filtro pasabanda = (0.5,10-70,80)Hz de 0-1800mseg.

(0.5,10-45,55)Hz de 1800-6000mseg.

#### **4.1.1.3 Adquisición del levantamiento sísmico 2D, ZO – 91C.**

Los parámetros de adquisición del Levantamiento Sísmico 2D, correspondiente al proyecto **Zulia - Oriental** fueron también ejecutados por la empresa EXGEO C.A.(1991), para MARAVEN ex-filial de Petróleos de Venezuela S.A., para un total de 1393Km.distribuidos en 54 líneas fueron grabadas con la finalidad de obtener un mejor conocimiento geológico del subsuelo de esta región con interés petrolíferos.

En este proyecto se seleccionó 2 orientaciones preferenciales de líneas sísmicas. Las líneas que tienen números pares fueron orientadas aproximadamente de oeste a este para seguir el rumbo general de los estratos. Perpendicularmente, las líneas de numeración impares fueron ubicadas siguiendo la orientación del buzamiento regional. Solamente las líneas ZO-91C-36E, ZO-91C-60 y ZO-91C-66 no siguieron estos modelos y fueron orientadas de noreste a suroeste para evitar perturbar los pueblos de Mene Grande y el Venado, durante la adquisición sísmica.

#### **Parámetros de Perforación del Levantamiento Zulia Oriental (ZO-91C).**

##### **a) Explosiva**

Numero de Pozos	10 huecos
Profundidad	de 1.20 a 1.50mts de profundidad
Cantidad de carga	de 200 a 1000 gr/pozo
Intervalos de Pozos	17.5mts

**TABLA 4.6. Parámetros de grabación con fuente explosiva de las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana**

**b) Parámetros del Instrumento en el Levantamiento Zulia – Oriental (ZO-91C)**

Instrumento de registro	SERCEL SN 348
Tipo de formato	SEG-B
Densidad	6250 BPI
Números de canales	192
Preamplificadores	42 dB
Longitud de registro	6 seg
Muestreo	2 ms
Filtros Bajo	0 Hz
Filtro Alto	125 Hz/72 dB
Filtro Notch	Desconectado
Cobertura	9600%

**TABLA 4.7. Parámetros del instrumento con fuente explosiva de las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana**

**c) Parámetros de Receptores y Tendido del Levantamiento Zulia Oriental (ZO-91C)**

Tipo	GSC20D
Números de Geófonos/Trazas	12
Frecuencia Natural	10 Hz
Distancia entre Geófonos	2.92 mts
Tipo de arreglo	4 * 3
Intervalos entre grupos	35 m
Intervalos entre puntos de tiros	35 m
Tipo de tendido	Split Spread Simétrico
Offset	17.5 m
Tipo de punto de tiro	Punto medio entre 2 grupos

**TABLA 4.8. Parámetros de receptores y tendidos utilizadas en las líneas sísmicas 2D (ZO-91C) de los campos Lagunillas y Tía Juana**

#### ***4.1.1.4 Procesamiento del levantamiento sísmico 2D, ZO –91 C***

El procesamiento final de los datos de grabación del proyecto *Zulia – Oriental 1991* fue efectuado por la misma empresa EXGEO, C.A, durante al año de 1991.

La secuencia que se siguió en el procesamiento de los datos fue la siguiente:

##### ***4.1.1.4.1 Demultiplexado***

La información de campo fue demultiplexada y remuestreada a 4ms de aplicar un filtro antialias, transformando el formato SegB original, en formato interno CGG (32Bits). Fueron procesados un total de 6 segundos de información.

##### ***4.1.1.4.2 Puesta al día de etiquetas de traza***

En el encabezamiento de cada traza fue colocada la información correspondiente a la geometría de registración. (Ej: posición del punto de tiro, posición del geófono, número del CDP,etc...).

##### ***4.1.1.4.3 Edición***

Las trazas muertas y ruidosas fueron eliminadas, utilizando para ello, el reporte de campo y displays de puntos de tiros.

##### ***4.1.1.4.4 Recuperación de Amplitud***

La divergencia esférica y atenuación fueron compensadas mediante el programa REFOR el cual aplica una curva del tipo T7250, conservando las amplitudes relativas de la señal.

##### ***4.1.1.4.5 Corrección de Fase Instrumental***

La distorsión de fase provocada por la cadena instrumental fue removida mediante la aplicación de un filtro inverso, calculado mediante el programa WAPCO, a partir del test del pulso sobre geófonos grabado en el campo.

#### ***4.1.1.4.6 Deconvolución antes del apilamiento***

Fue aplicada una deconvolución spike mediante el programa DECON. El operador fue calculado por autocorrelación, en dos diferentes ventanas y con los siguientes parámetros.

<b>Longitud del operador</b>	<b>Ventana</b>	<b>Preblanqueo</b>
140ms	0-2200 ms	1%
140ms	2000-6000ms	1%

#### ***4.1.1.4.7 Balanceo Espectral***

Esta deconvolución a fase cero antes del apilamiento se realizó con el programa TVDEF el cual provee un blanqueo del espectro de amplitud. El rango de frecuencia utilizado fue de 8 a 80Hz

#### ***4.1.1.4.8 Corrección Estáticas Primarias***

Fueron calculadas por referencia con el software Green Mountain. Mediante este sistema se realiza el picado de los primeros quiebres en forma interactiva, luego de lo cual, se calcula un modelo geológico de superficie para después calcular estáticas primarias. Los parámetros utilizados para el cálculo fueron los siguientes:

Plano de referencia.....0 ms  
Velocidad de corrección.....Variable  
Números de capas meteorizadas..... Una

Teniendo en cuenta las importantes variaciones topográficas existentes en el área, se optó por procesar con un plano de referencia flotante, el cual fue tomado como tiempo de referencia para el cálculo y aplicación de velocidades de apilamiento.

#### ***4.1.1.4.9 Análisis de Velocidades***

El estudio de velocidades se efectuó mediante el método de apilamiento de velocidades constantes, según el programa VSCAN, en el cual se utilizaron grupos de cuarenta CDP consecutivos.

En total se realizaron tres análisis de velocidad es, variándose para cada paso la ubicación de los mismos, según es detallado a continuación:

- 1) Antes del apilamiento preliminar, cada 100 CDP, en grupos de 40.
- 2) Después del primer paso de estáticas residuales, cada 60 CDP, en grupos de 40.

- 3) Luego del proceso DMO con el incremento anterior y tratando de ubicarlos centradamente sobre los cruces de líneas.

#### ***4.1.1.4.10 Estáticas Residuales***

Se efectuaron dos pasos de estáticas residuales consistentes en superficie, a partir del programa SATAN. Para el primer paso y a fin de evitar el efecto perjudicial de posibles problemas de velocidad, remanentes del primer análisis, no se utilizaron las trazas lejanas. Durante el segundo calculo de estáticas residuales, al contarse ya como un campo de velocidades bien ajustado, se utilizaron las trazas en su totalidad.

#### ***4.1.1.4.11 Proceso DMO***

En este caso se utilizó el programa “DMSTK” desarrollado a partir del algoritmo de Kirchhoff. Este procedimiento permite remover los efectos de las pendientes haciendo una migración parcial antes de apilamiento. El estudio de velocidad después de DMO permite una mejor optimización del apilamiento final.

#### ***4.1.1.4.12 Conversión a Fase Cero***

Fue realizado mediante el programa “DECMC” que provee una deconvolución multicanal, utilizando un operador de cambio de fase, el cual no afecta el espectro de amplitud.

#### ***4.1.1.4.13 Migración en Tiempo después de Apilamiento***

Se utiliza el programa “FXMIG” el cual está basado en un algoritmo del tipo “diferencias finitas”; el cual resuelve la ecuación de onda acústica, en el dominio FX. Las velocidades utilizadas fueron las resultantes del proceso DMO y aplicadas en 100% de su valor.

#### ***4.1.1.4.14 Eliminación de Ruidos Aleatorios***

Exgeo a partir del programa “VIZIR” atenúa el ruido aleatorio, mediante el cálculo de un operador de predicción en el dominio ( $f_x$ ). Este proceso mejora la relación señal / ruido sin realizar mezclas de trazas.

#### ***4.1.1.4.15 Presentación Final***

Las secciones “Apilamiento Final” y “migración Final” fueron grafificadas en las dos escalas siguientes:

- 1) Escala Horizontal: 1/50000  
Escala Vertical: 5 cm/seg  
Ganancia: 3 DB
  
- 2) Escala Horizontal: 1/25000  
Escala Vertical: 3.5 pulgadas/seg  
Ganancia: 4 DB

## ***4.1.2 Levantamiento Sísmico 3D de las áreas periféricas del Campo Tía Juana***

### ***4.1.2.1 Adquisición del levantamiento sísmico 3D, Tía Juana***

Los datos del levantamiento sísmico tridimensional de las áreas periféricas al norte del Campo Tía Juana, fueron adquiridos por la empresa contratista Suelopetrol, C.A. entre el periodo 1996-1997.

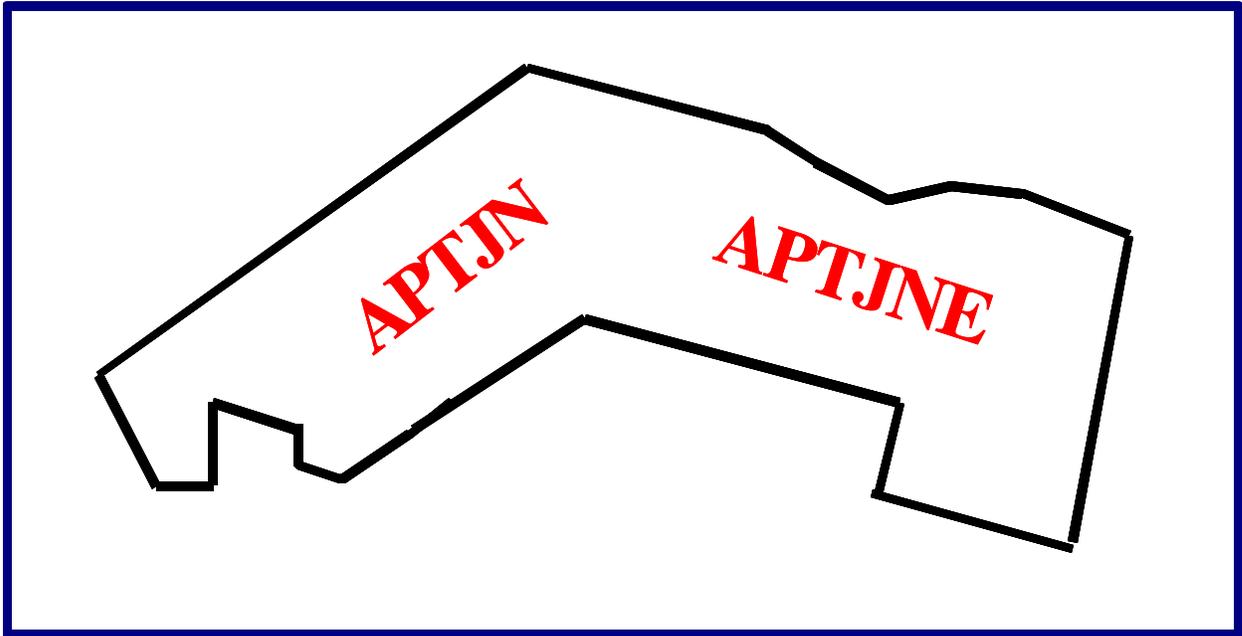
En la figura 4.7 se muestra el área del programa de Tía Juana 3D comprendido dos bloques separados por la línea de tiro SL-2421 según la siguiente subdivisión:

- **APTJNE** (Área de Producción Tía Juana Noreste)
- **APTJN** (Área de Producción Tía Juana Norte)

El programa inicial comprendía 168 líneas receptoras y 150 líneas de tiros con parámetros estacado cada 12 m, las receptoras separadas cada 48 m y orientación azimutal de 103 grados 02 minutos 09 segundos en sentido este – oeste, comenzando con la línea RL-4999 y terminando con la línea RL-6335.

El programa inicial de perforación se estableció para el área del proyecto Tía Juana 3D, consistió en 48.000 puntos de tiros distribuidos sobre 58 swaths, según arreglo de un pozo a 9 metros de profundidad por punto fuente y cargado con 180 gr. de explosivo tipo pentolita de los cuales se ejecutaron 44.032 y de éstos, 1000 no fueron grabados por razones de permiso.

La perforación comenzó el 15 de Diciembre de 1996 con dos frentes de taladro, sobre la línea SLS-3717 de swatch # 34 bloque APTJNE y progresivamente fueron incrementando hasta tener 18 cuadrillas operativas y 6 para rotación.



**FIGURA 4.7** Ubicación de las áreas periféricas del campo Tía Juana. Área Periférica Tía Juana Norte (APTJN) y Área Periférica Tía Juana Nor -Este (APTJNE). Levantamiento sísmico 3D.

En la primera etapa del proyecto, la litología a nivel superficial la conformaban arcillas duras, particularmente en la zona de producción del campo petrolero de Tía Juana. Hacia el extremo oeste del bloque APTJN, aproximadamente desde la zona industrial (ZICOLCA) y carreteras Williams hasta la Costa del lago de Maracaibo, el terreno se caracterizó por presentar arenas arcillosas blandas que favorecieron el avance de la perforación.

Los parámetros de perforación usada en el área del programa Tía Juana 3D se describe en la tabla 4.9.

Distancia entre líneas de tiro	108 metros
Distancia entre líneas receptoras	48 metros
Pozos por PT	01 ubicado en la estaca
Distancia entre puntos de tiro	12 metros
Profundidad de pozo	09 metros
Tipo de carga	1 reforzador de 198 gr. Tipo Booster C-7 y un fulminante Harseim de 10 m.
Distancia de offset	Desplazamiento en dirección inline (este-oeste) en múltiplos de 12 metros, con valores máximos de 48 metros y el crossline (norte-sur) en múltiplos de 12 metros hasta un máximo de 144 metros según el obstáculo.

**TABLA 4.9. Parámetros de perforación de las áreas periféricas del campo Tía Juana, proyecto 3D**

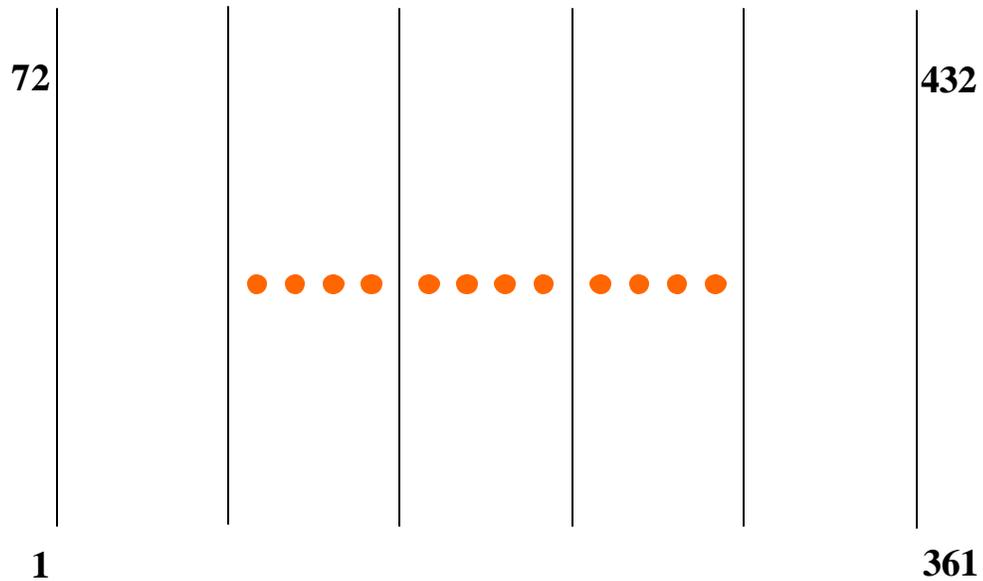
La calidad de los registros resulta de buena calidad y a pesar del nivel de ruido existente en la zona causado por la presencia de las instalaciones petroleras tales como: tuberías de petróleo y vapor, balancines, plantas de flujo, líneas de alta tensión, el tráfico de vehículos sobre las carreteras principales y vías secundarias, etc. Sin embargo, las características del terreno arcilloso y compacto sobre la mayor parte del área de trabajo resulto muy favorable para la propagación de energía en el subsuelo, a pesar de trabajar con pequeñas cargas explosivas requeridas para generar altas frecuencias, con presencia de buenos reflectores en la profundidad de interés, lo cual se deduce de los espectros de señal obtenidos por algunos tramos de swaths analizados.(Maraven S.A,1991)

Los parámetros del tendido de los datos sísmicos 3D del área de Tía Juana fueron los siguientes:

Tipo de fuente de energía	Dinamitas
Números de líneas receptoras por swatch	6
Modelo de disparo	Swath loop
Números de canales por línea receptora	72 (72 x 6 = 432)
Distancia entre canales receptores	12 metros
Distancia entre líneas receptoras	48 metros
Números de tiros por patch	12
Distancia entre puntos de tiro	12 metros
Distancia entre líneas de tiro	108 metros
Tipo de geófonos	Sm-4, HS Superphone
Patrón de detección	Seis geófonos agrupados en la estación

**TABLA 4.10** Parámetros de grabación obtenidos de la sísmica del 3D del Campo Tía Juana

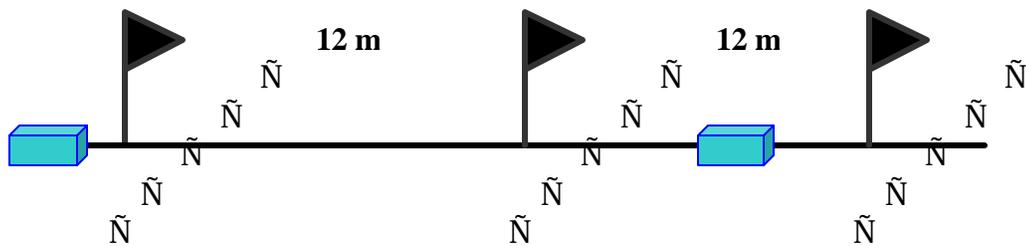
### Geometría del Patch



**FIGURA 4.8:** Geometría del Patch de la sísmica 3D del campo Tía Juana

- Distancia entre líneas receptoras = 48m
- Distancia entre receptores = 12m
- Distancia entre líneas de disparo = 108m
- Distancia entre disparos = 12 m
- Canales por líneas receptoras = 72
- Número de líneas receptoras = 6
- Número total de canales = 432
- Número de PT's por patch = 12

### Disposición de geófonos en el campo y distancia entre ellos



**FIGURA 4.9: Disposición de geófonos en el Campo Tía Juana, proyecto 3D**

La disposición de geófonos en el campo son en total 06 geófonos agrupados en cada estaca, dentro de una fosa ubicada perpendicularmente a la línea receptora. Esta fosa tiene 15 cm de profundidad por 30 cm de largo, espacio suficiente para alojar la ristra, incluyendo su cable y separadas cada una 12 metros.

### Parámetros de Grabación

Instrumento de grabación	I/O System Two. MRX-1,24 bits, 2da. Generación (modificado a 2 canales).
Formato de grabación	IEEE SEG D tipo 8058
Rata de muestreo	1 ms
Tiempo de grabación	3.0 seg.
K- ganancia	48 db
Canales auxiliares	4: -aux1: TB clock -aux2: TB confirmation -aux3: UH-analogo -aux2: UH-digital
Filtro de corte bajo	Fuera
Filtro notch	Fuera
Filtro anti alias	0.5 Nyquist. Fase mínima

**TABLA 4.11: Parámetros de Grabación, del levantamiento sísmico 3D del Campo Tía Juana**

El reporte final del procesamiento de los datos sísmicos del área de producción Tía Juana 3D no se encontró, por lo que no se le hace referencia dicha información. La secuencia de procesamiento y el control de calidad que se tiene a continuación fue la utilizada en campo.

Para alcanzar los objetivos se realizó en tres etapas: la primera consistió en la revisión material de soporte de datos a procesar (cartuchos, reporte del observador, coordenadas y script file), lectura de los datos demultiplexados, generación del formato SPS para el cálculo de la geometría y edición (los registros de campo en malas condiciones y los de prueba son editados y no se toman en cuenta durante el procesamiento).

La segunda etapa comprendió la aplicación de análisis de velocidad y procesos necesarios para obtener una sección apilada, entre éstos se mencionan: selección de filtros operador de deconvolución, recuperación de amplitudes, geometría y cálculo de estáticas residuales, análisis de velocidad para la corrección NMO (Normal Move Out) y un mute el cual permitió eliminar el efecto de estiramiento de las trazas, ocasionado por dicha corrección.

La tercera etapa consistió en la generación de una sección apilada con y sin estáticas residuales, que permitió hacer una evaluación del efecto de los procesos aplicados sobre los datos sísmicos de campo.

### Secuencia básica del Procesamiento en campo

Lectura de datos	Filtro pasabanda	Análisis de velocidad
Remuestreo	AGC	Filtro pasabanda
Geometría	Apilamiento bruto	AGC
Pre-Proceso	Ploteo de sección	Apilamiento
Análisis de velocidad	Estáticas residuales	Ploteo de sección

**TABLA 4.12: Secuencia básica del procesamiento en campo del levantamiento sísmico 3D del campo Tía Juana**

Longitud total de registro	3 seg.
Longitud del registro procesado	1.2 seg.
Remuestreo	2 ms.
Estáticas	Por elevaciones
Recuperación de Amplitud	Divergencia esférica
Deconvolución Tipo: Spiking (fase mínima) Operador de Deconvolución	160 ms
Tipo: Predictiva (fase mínima) Operador de deconvolucion Distancia predictiva:	160 ms 8 ms
Filtro pasabanda	14-18-135-150
Automatic Gain Control (AGC)	100 db

**TABLA 4.13: Parámetros de Procesamiento, del levantamiento sísmico 3D del Campo Tía Juana**

## **4.2 Registros o Perfiles de Pozos.**

Para proporcionar la mayor información al estudio, corroborar la geología existente en el subsuelo y calibrar la información sísmica disponible, fue necesario contar con los parámetros y criterios para la selección de los pozos. Para ello se utilizó perfiles petrofísicos y perfiles de tiros de verificación relativa (CheckShots). Para la interpretación se cargó una lista al proyecto de un total de 253 pozos, a los cuales se le aplicó los criterios necesarios para su escogencia:

- Que la profundidad total de los pozos cubriese el área de interés.
- Que los registros que se habían llevado a cabo en cada uno de los pozos estuviesen enmarcados dentro del área de interés alcanzando la profundidad hasta la discordancia del Eoceno
- Que cada pozo tuviese cargados los registros tales como: sónico (DT), Gamma Ray (GR), Densidad (RHOB), Resistividad (ASN), Calibración (CAL), Velocidad o Check Shot (WST), es importante resaltar, que los registros de velocidad, sónico y densidad son los de mayor relevancia ya que se utilizan como base para construir la serie de reflectividad para se utilizada en la elaboración de los sismogramas sintéticos.
- Se trató de realizar un arreglo geográfico de los pozos para que cubrieran toda la zona correspondiente al proyecto asignado por Maraven S.A.

En general, en el área se encuentran siete pozos con registros WST , 14 pozos con registros sísmicos y 39 con registros de densidad.

### 4.3 Sísmica de Pozos

La interpretación de datos sísmicos de superficie ha encontrado un soporte vital en los datos sísmicos de pozos. Casi coincidentemente con las primeras experiencias de sísmica de reflexión, es considerado por Hardage (1983), como el primer documento sísmico referente a fuente y receptores sumergidos en un pozo. A pesar de ellos el uso de pozos profundos con propósitos sísmicos estuvo limitado durante muchos años a la determinación de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Por medio de ellos, se puede pasar del dominio del tiempo ( $t$ ) al dominio del espacio ( $z$ ). Así fue entonces como la onda directa resulto la única parte analizable de un registro sísmico de pozo, lo que se conoce como “Prueba de Velocidad” o tiros de verificación sísmica (CheckShots) (Schlumberger, 1984). (Fig. 4.10).

Con la aparición en la década de 1950 de la herramienta sónico de pozo, su combinación con la prueba de velocidad en (1960) y el desarrollo del análisis y procesamiento de la onda completa registrada por un geófono dentro del pozo, permitieron la evolución de las dos técnicas básicas, Sismograma Sintético y el Perfil Sísmico Vertical (VSP), estas conformarían las nuevas técnicas, de la “Sísmica de Pozo”.

Es importante señalar que la integración de ambas herramientas (Sísmica de Pozo) brinda una valiosa información del subsuelo y, en general, es una poderosa herramienta para calibrar a la sísmica de superficie con mayor grado de detalle, reduciendo así la ambigüedad en la interpretación, haciendo más confiable las secciones y mapas generados.

La sísmica de pozo es la técnica que cubre la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos sísmicos registrados, colocando los receptores dentro del pozo.

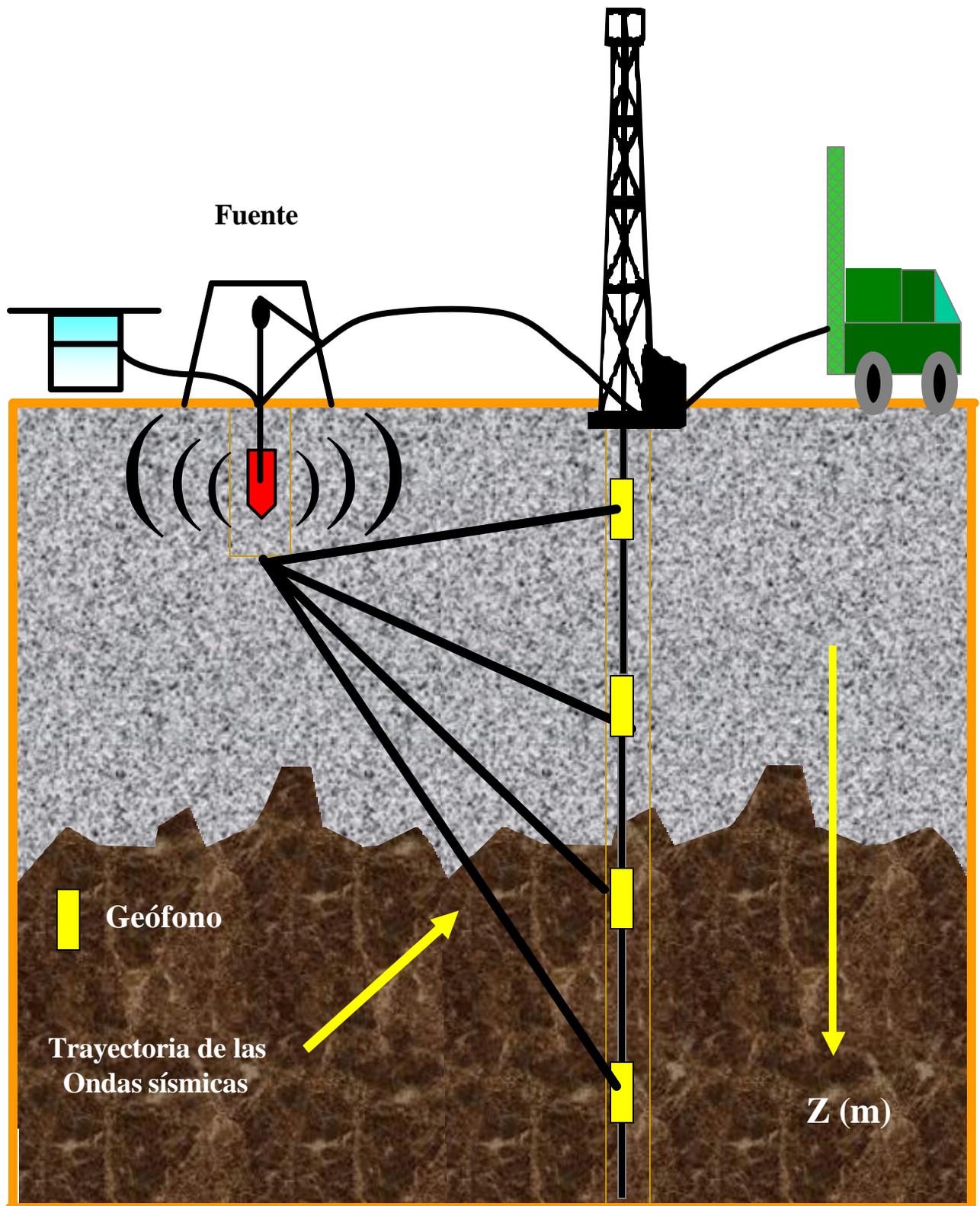


FIGURA 4.10 Esquematación de la adquisición de tiros de verificación (CheckShots). Mide el tiempo que tarda en llegar al geófono anclado a una profundidad determinada en el pozo, un pulso de sonido generado en la superficie.

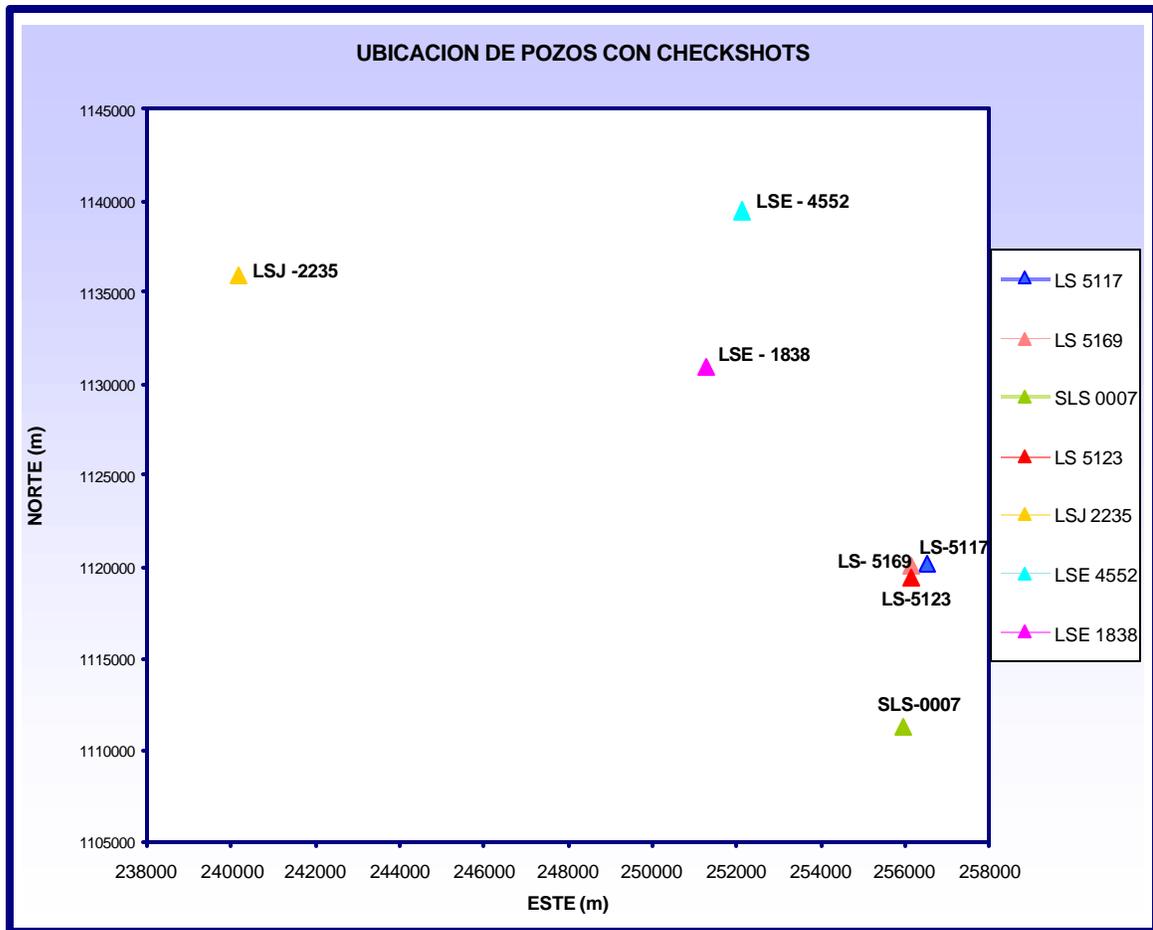
### ***4.3.1 Tiros de Verificación Sísmica (CheckShots)***

Se realizó la recopilación de la información sísmica disponible en el área. De los 253 pozos cargados al proyecto de interpretación, sólo 7 de ellos poseen registros de velocidad, estos son: LS-5117; LS-5169; LS-5123; SLS0007; LSE-1838; LSE-4552 y el LSJ-2235. La distribución de estos pozos con tiros de verificación sísmica se realizó bajo el siguiente criterio:

- 1) Estos pozos presentan información en el intervalo de interés.
- 2) La ubicación de estos permiten disminuir el grado de incertidumbre en el área y correlacionar lateralmente la información, debido a que están distribuidos separadamente al nivel de los campos Lagunillas y Tía Juana (Fig. 4.11).
- 3) Estos pozos además de tener registros de calibración *Caliper* (CAL), *sónico* (DT), *densidad* de la formación (RHOB o ZDEN), *resistividad* (ASN, Rt ), *Gamma Ray* (GR), poseen también registros de velocidad original (WST o Checkshot – VS o Velocity Survey). Los valores de los cálculos obtenidos para la elaboración de las curvas TZ son mostrados en las tablas de apéndice # 1.

Los registros *sónicos* corregidos y *densidades* son empleados para generar los sismogramas sintéticos, mientras que los registros *Caliper* y *Gamma Ray* se utilizaron como control de calidad. El pozo LS 5123 a pesar de tener registro *CheckShots*, no posee registro *sónico*, por lo que se decidió asignar del pozo LS 5121 este registro, el cual se encuentra relativamente cerca del LS 5123, aproximadamente unos 200m.

Es importante resaltar, que los pozos LS 5117; LS 5169; SLS0007 Y LS 5123 están ubicados en la parte sur del Campo Lagunillas mientras que el LSE 1838; LSE 4552 y el LSJ2235 están ubicados en la área periférica Este y Centro del campo Tía Juana respectivamente, lo que significa que se pudo correlacionar lateralmente la ubicación de los topes.



**FIGURA 4.11** Ubicación de los pozos con tiros de verificación (CheckShots) correspondiente a los campos Lagunillas y Tía Juana.

Los registros de velocidad constituye el vinculo entre los datos sísmicos de reflexión y los datos geológicos. La adquisición de los datos consiste, en medir el tiempo del primer quiebre de las ondas de arribo al geófonos, a las distintas profundidades que se seleccionaron.

En la tabla 4.14 se muestran los parámetros de adquisición de los pozos con tiros de verificación, obtenidos en los campos Tía Juana y Lagunillas.

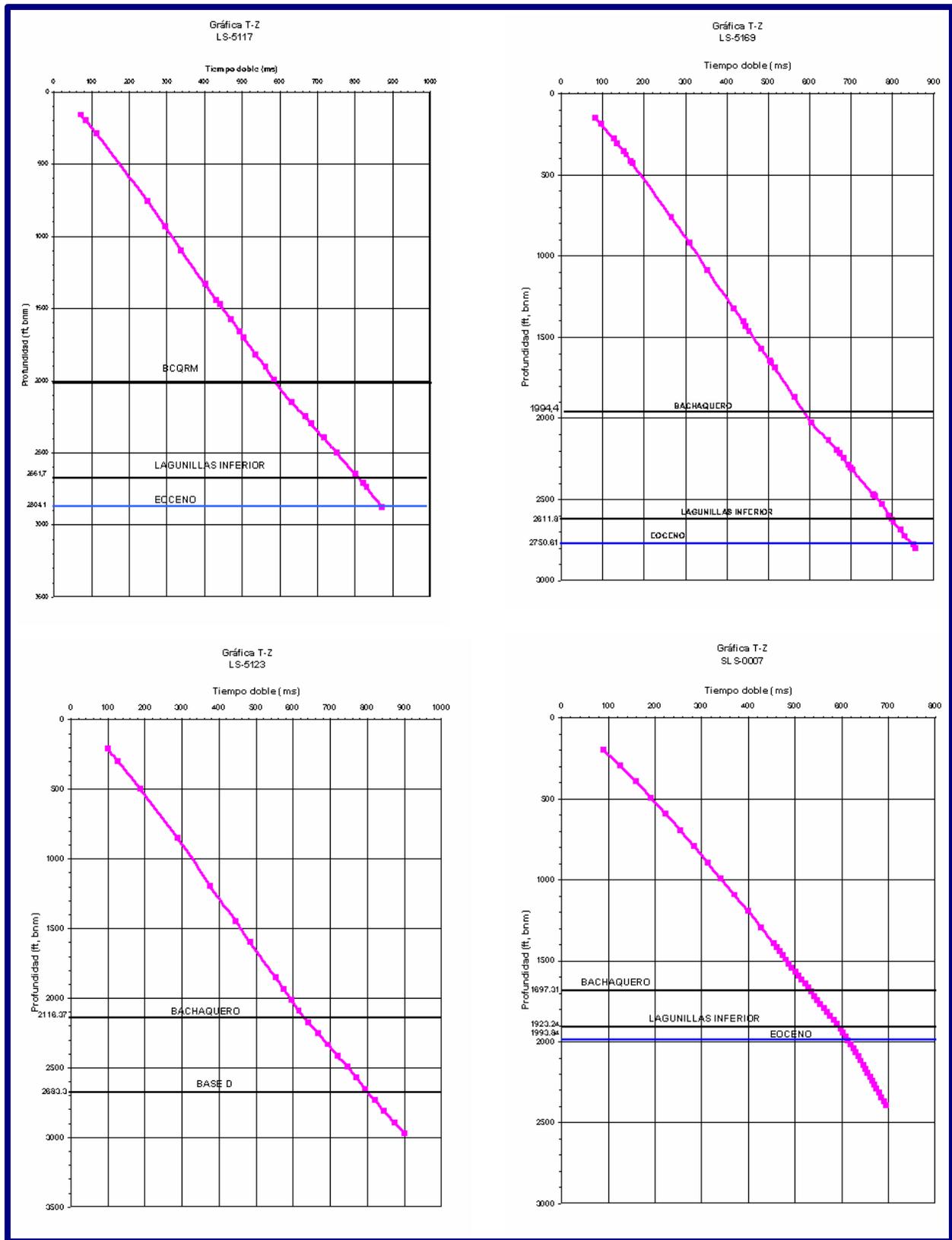
Pozo	Distancia (pies)	Azimuth (degree)	Nivel de Referencia(K B) (pies)	Elevación del terreno (pies)	N° de niveles de medición	Profundidad Máxima (pies)	Velocidad (ft/seg)
<b>LS 5117</b>	99'	15°	3'	8'	24	2878	5000
<b>LS 5169</b>	98'	15°	13	3'	40	2817	5000
<b>LS 5123</b>	99'	120°	0'	3'	23	2972	5000
<b>SLS 0007</b>	85'	326°	7'	2'	48	2408	5000
<b>LSE 1838A</b>	16	0°	56'	0'	12	2021	5000
<b>LSE 4552</b>	150'	130°	148'	137'	14	1346	6000
<b>LSJ 2235</b>	162'	15°	9.97'	3.28'	11	6030	6500

**TABLA 4.14** Parámetros de adquisición de los tiros de verificación

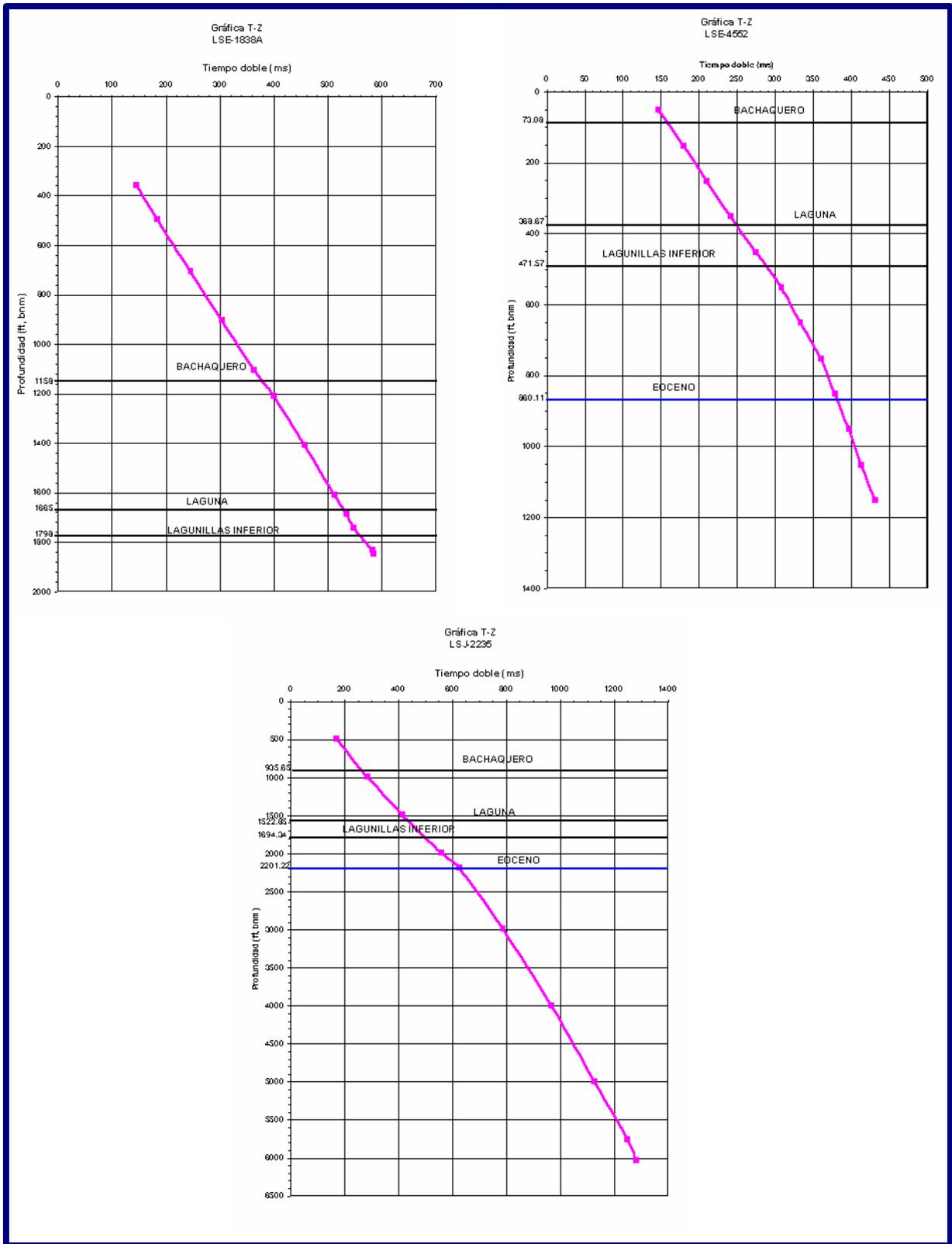
El Azimuth y la distancia se mide con respecto al pozo y el datum de referencia sísmica (SRD) utilizado fue el nivel medio del mar.

Como resultado de este procedimiento, se obtuvieron las curvas tiempo – profundidad (TZ), para cada uno de estos pozos (Fig. 4.12 y 4.13) lo que va a permitir llevar perfiles que son registrados en una escala lineal de profundidad a escalas de tiempo o correlacionar la información sísmica, con la información de pozos, es decir llevar los valores de las profundidades correspondientes a los topes formacionales de interés a los valores en tiempo.

Es importante resaltar, que el resto de los pozos, fue amarrado a los pozos con registros CcheckShots, dependiendo de la distribución relativa a éstos, es decir, la tabla TZ del pozo LSE 1838 se le asignó a todos los pozos que se encontraban alrededor de este, de igual forma se procedió con las demás tablas TZ presentes en el campo. Vale destacar que cada asignación se verificó a fin de obtener el mejor amarre de cada uno de los marcadores formacionales.

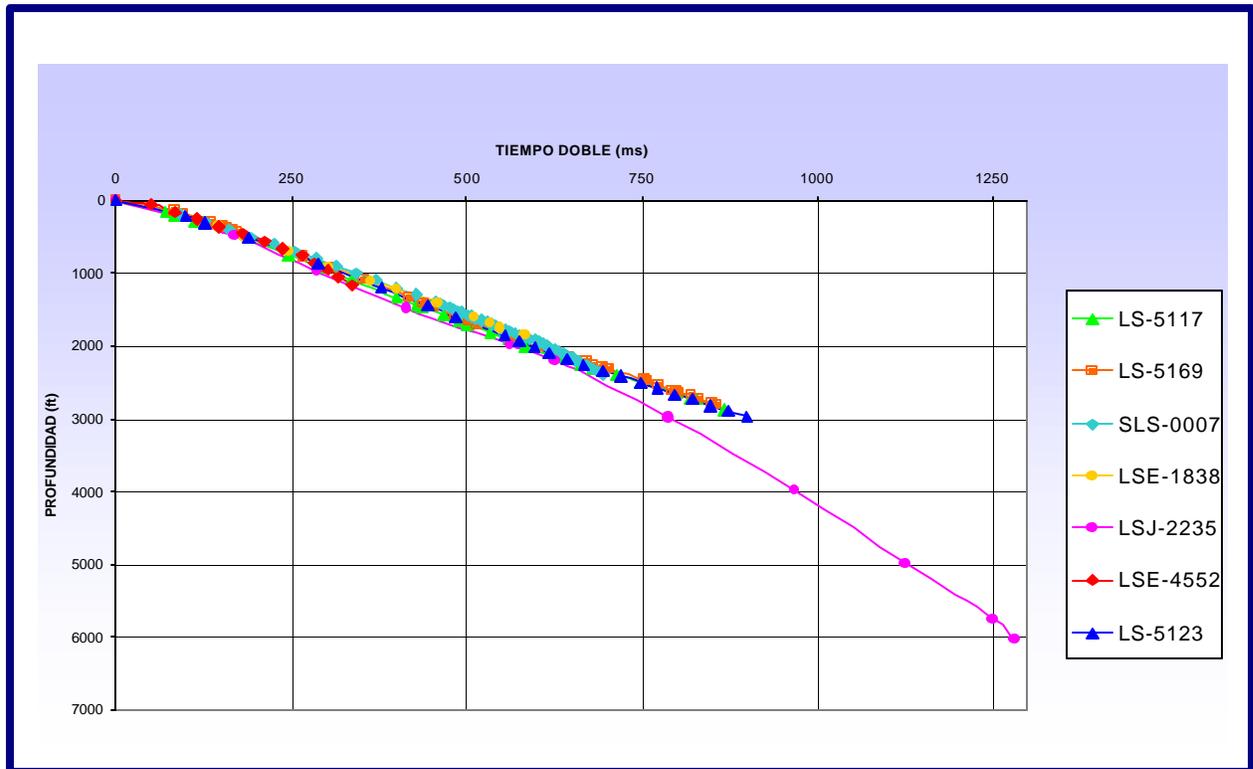


**FIGURA 4.12** Curvas Tiempo – Profundidad (TZ) para los pozos LS 5117 (superior izquierda), LS 5169 (superior derecha), LS 5123 (inferior izquierda) y SLS 0007 (inferior derecha).



**FIGURA 4.13** Curvas Tiempo – Profundidad (TZ) para los pozos LSE1838A (superior izquierda), LSE4552 (superior derecha) y LSJ 2235 (inferior).

En la figura 4.14 se observa que las tendencias definidas por las curvas de velocidad en el área, no es tan brusca, es decir que no existe variación lateral de velocidad. Por lo que, se le asignaron la información de TZ a los pozos del área de la forma antes mencionada, ya que éstas básicamente tienen el mismo comportamiento. Sólo, el pozo LSJ 2235, la función de velocidad aumenta a partir de los 2500 pies aproximadamente comparado con el resto de los pozos presentes en el área de estudio.



**FIGURA 4.14** Gráfico de curvas de velocidades de los campos Tía Juana y Lagunillas, tomados de datos originales Checkshots

El comportamiento de velocidad lateral en el subsuelo, varía con respecto a la distancia y a posibles eventos estructurales, es por ello que una de las limitaciones mas representativas para la asignación de las curvas TZ, es que los pozos involucrados en este procedimiento no deben estar muy distantes.

#### ***4.3.2 Generación de mapas de velocidad para cada horizonte de interés.***

Para obtener un análisis del comportamiento de las velocidades en el campo, se realizaron mapas de velocidad interválica y promedio correspondiente a la discordancia del Eoceno, tope Miembro Lagunillas Inferior, tope del Miembro Laguna y Tope del Miembro Bachaquero.

Como primer paso, se calcularon las velocidades interválicas y promedio para cada uno de los horizontes de interés. A continuación se tienen los cálculos utilizados para la elaboración de estos mapas.

La velocidad promedio se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{prom} = \frac{2000 * (Tope \text{ de } A)}{(Tiempo \text{ de } A)}$$

Donde

Tope de A: profundidad del horizonte de interés.

Tiempo de A: tiempo doble del horizonte de interés.

La velocidad interválica es calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{int} = \frac{2000 * (Tope \text{ de } B - Tope \text{ de } A)}{(Tiempo \text{ de } B - Tiempo \text{ de } A)}$$

Donde

Tope de A y B: profundidad de los horizontes de interés.

Tiempo de A y B: tiempo doble de los horizontes de interés.

En las Tablas 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21 se muestran los valores de velocidad promedio e interválica, correspondiente a cada uno de los pozos con CheckShots.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LS 5117	256511	1120192	SUPERFICIE	0	0	0	5993,87
			BA CHAQUERO	298,75	2041,38	6833,07	
			LAG INFERIOR	402,75	2661,7	6608,81	
			EOCENO	426,00	2804,10	6582,39	

TABLA 4.15 Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LS 5117.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LS 5169	256141	1120050	SUPERFICIE	0	0	0	6198,61
			BA CHAQUERO	297,50	1994,38	6703,80	
			LAG INFERIOR	397,50	2611,80	6570,57	
			EOCENO	419,50	2750,61	6556,88	

TABLA 4.16 Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LS 5169.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
SLS 0007	255965	1111254	SUPERFICIE	0	0	0	7507,09
			BA CHAQUERO	267,50	1697,31	6345,08	
			LAG INFERIOR	299,00	1923,24	6432,24	
			EOCENO	307,00	1933,84	6494,59	

TABLA 4.17 Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo SLS 0007.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LSJ 2235	240159	1135900	SUPERFICIE	0	0	0	7109,94
			BA CHAQUERO	137,00	935,65	6829,56	
			LAGUNA	212,00	1522,85	7183,25	
			LAG INFERIOR	236,50	1694,34	7164,23	
			EOCENO	315,00	2201,22	6988,00	

TABLA 4.18 Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LSJ 2235.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LSE 4552	252140	1139466	SUPERFICIE	0	0	0	7027,05
			BA CHAQUERO	28,75	73,08	2541,91	
			LAGUNA	75,00	368,67	4915,60	
			LAG INFERIOR	92,75	471,57	5084,31	
			EOCENO	140,75	860,11	6110,91	

TABLA 4.19 Valores de velocidad interválica y promedio correspondiente al pozo LSE 4552.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LSE 1838A	251298	1130927	SUPERFICIE	0	0	0	5818,18
			BACHAQUERO	174,50	1158,00	6636,10	
			LAGUNA	264,75	1665,00	6288,95	
			LAG INFERIOR	284,50	1798,00	6319,86	

**TABLA 4.20** Valores de velocidad interválca y promedio correspondiente al pozo LSE 1838A.

POZO	COORDENADAS		HORIZONTES	TIEMPO SIMPLE (ms)	PROFUNDIDAD (ft)	VELOCIDADES (ft / s)	
	X	Y				PROMEDIO	INTERVALICAS
LS-5123	256146	1120080	SUPERFICIE	0	0	0	6805,05
			BACHAQUERO	311,00	2116,37	6805,05	

**TABLA 4.21** Valores de velocidad interválca y promedio correspondiente al pozo LS 5123.

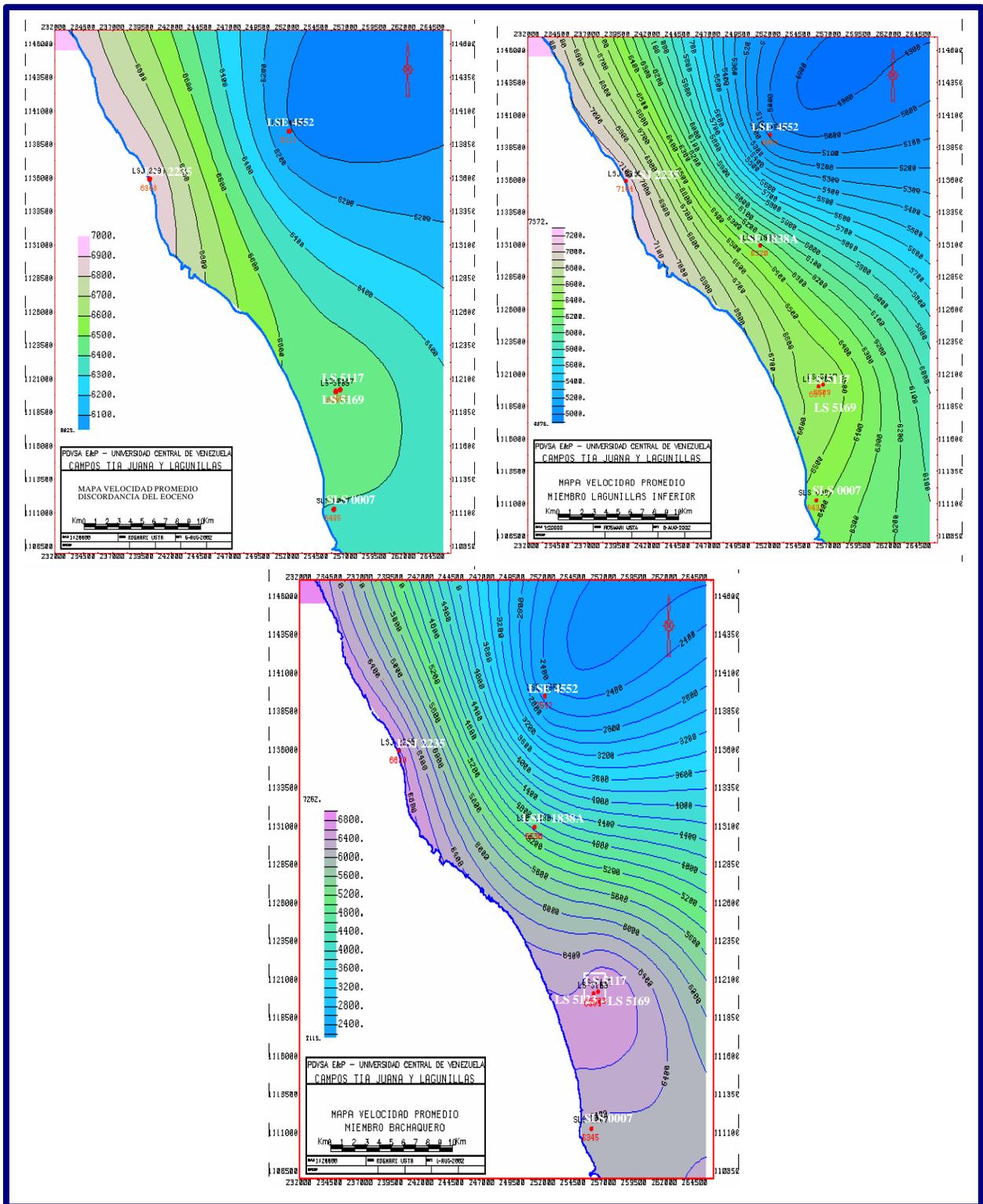
A partir de los valores obtenidos se generaron mapas de velocidad, estos mapas se realizaron en *ZmapPlus<sup>TM</sup>*. Los mapas de velocidad, permitieron asignarle a cada pozo un valor de velocidad, en base a la cercanía de los mismos, a los contornos (líneas de isovelocidades).

En la figura 4.15 y 4.16 se muestra la distribución de velocidad promedio e interválca para la discordancia del Eoceno, tope del Miembro Lagunillas Inferior, Miembro y Bachaquero.

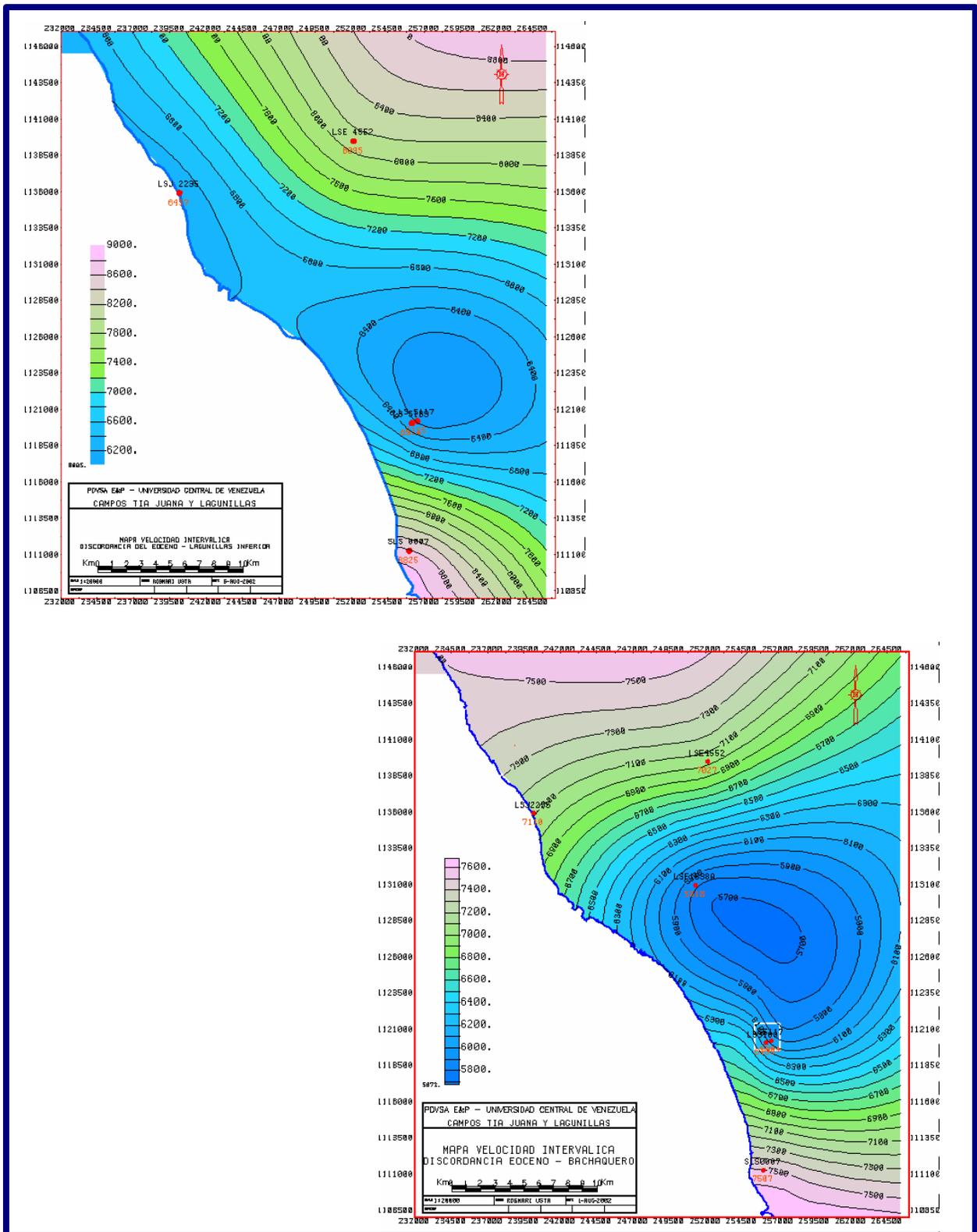
Se observa en la figura 4.15 la distribución de las velocidades promedio para cada uno de los horizontes de interés, se puede observar en los tres mapas, que la velocidad decrece hacia el noreste del área oscilando entre 7200 pies/seg a 2200 pies/seg, esto me indica que los espesores de los Miembros de la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno, son más someros hacia esta dirección y más profunda hacia el noroeste del área.

De los siete (7) pozos con CheckShots, el mapa de velocidad promedio correspondiente a la discordancia del Eoceno como se representa en la figura anterior, fue realizado en base a la información aportada, de sólo cinco de estos pozos con tiros de verificación. El mapa de velocidad promedio de Lagunillas Inferior se generó a partir de la información de seis de los siete pozos con CheckShots, mientras que el mapa de velocidad promedio correspondiente al Miembro Bachaquero se realizó con los siete pozos encontrados en toda el área.

En la figura 4.16 se representa el mapa de velocidad interválica correspondiente a los intervalos de interés Eoceno – Lagunillas Inferior y Eoceno – Bachaquero, en ambos mapas se observan cierres de velocidad, en este cierre, de acuerdo a la escala de color y a los cálculos, se relaciona a los valores de menor velocidad, los valores para ambos oscilan entre 6400 pies/seg a 2400 pies/seg, y hacia los extremos del área de estudio, las velocidades son mayores, estos oscilan entre 7000 pies/seg y 9000 pies/seg. Estos mapas se generaron a partir de cinco pozos con CheckShots.



**FIGURA 4.15** Representación de mapas de velocidad promedio correspondiente a los topes interpretados, discordancia del Eoceno (superior izquierdo), Miembro Lagunillas Inferior (superior derecho) y Miembro Bachaquero (inferior).



**FIGURA 4.16** Representación de mapas de velocidad intervalica para el intervalo de discordancia del Eoceno con Lagunillas Inferior (superior) y discordancia del Eoceno con el Miembro Bachaquero (inferior).

#### **4.4 Resolución Vertical de los Datos Sísmicos.**

La resolución sísmica, es el límite de definición de eventos en el subsuelo. La resolución dependerá de la configuración geométrica y equipos utilizados durante la adquisición sísmica, de los parámetros y secuencia de procesamiento, y de la disposición de los estratos de la roca en el subsuelo. En el presente contexto la resolución se refiere a la capacidad de distinguir la ondícula reflejada en el tope y en la base de una unidad estratigráfica. Para espesores inferiores al límite de resolución, la variación del espesor de la capa se traduce en pequeñas variaciones de tiempo o de la forma de la ondícula de reflexión. Cuanto más delgada sea la capa detectada por el método, mayor será el grado de resolución de éste.

La resolución está relacionada con la longitud de onda, que a su vez es una función de la velocidad de la formación y de la frecuencia dominante. Brown (1986), señala que la resolución vertical es igual a un cuarto ( $1/4$ ) de la longitud de onda ( $\lambda$ ) en las adyacencias de la interfase donde se produce la reflexión.

Considerando el tiempo de recorrido de ida y vuelta y la velocidad de la formación, se puede expresar el límite de resolución como  $\lambda/2.8$ , para la aplicación de este criterio, la frecuencia que se consideró es aquella que exhibe un máximo en el gráfico de contenido de frecuencias. El análisis del contenido de frecuencia se realizó a través de la aplicación “Scrip Unix” el cual permite extraer la ondícula de la sísmica que atraviesa el pozo y calcular el espectro de frecuencia de la misma obteniéndose un gráfico de frecuencias, donde se pudo determinar la frecuencia media del mismo. Las figuras 4.17 y 4.18 muestran los espectros de amplitud aplicados a los pozos LS 5117 (campo Lagunillas) y al pozo LSE 4552 (campo Tía Juana), con su respectiva aproximación polinómica de quinto grado ( $5^\circ$ ), para cada pozo considerado.

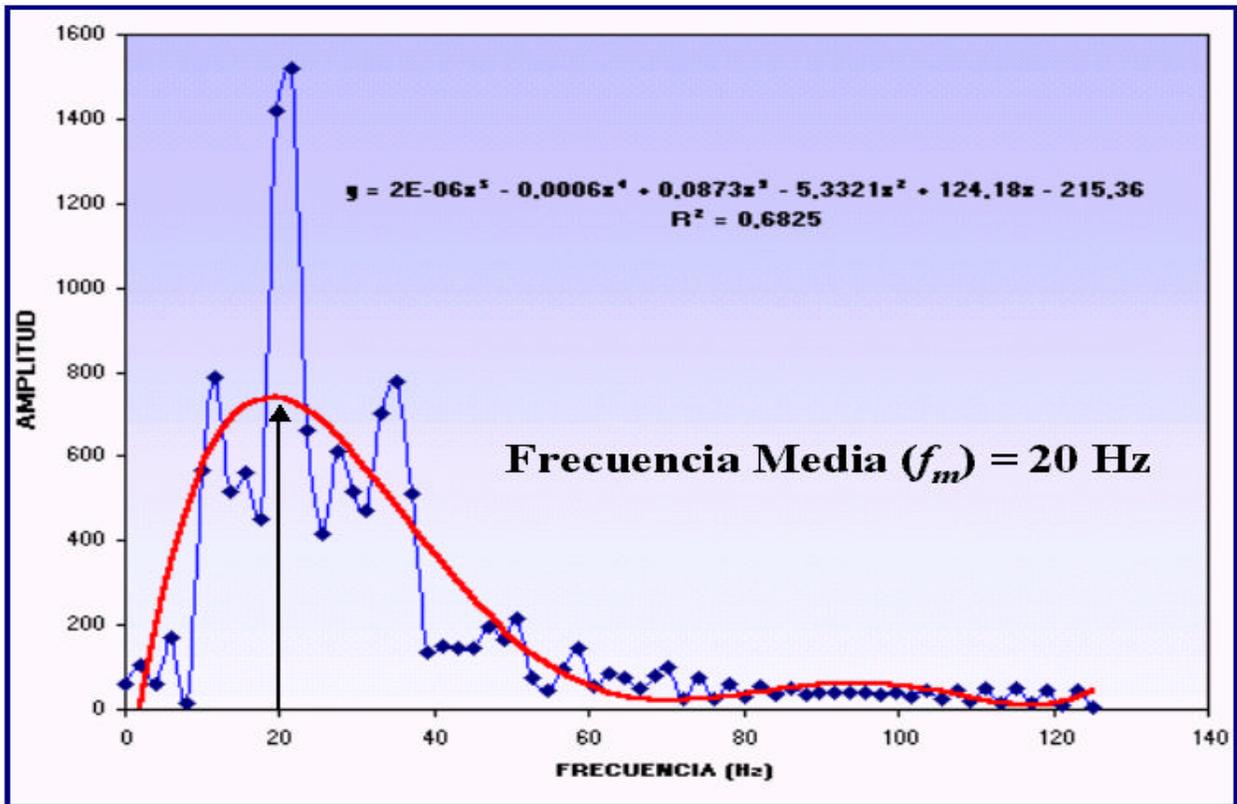


FIGURA 4.17 Espectro de amplitud correspondiente al pozo LS 5117, pozo correspondiente al campo Lagunillas, se señala que la frecuencia media es de 20 Hz.

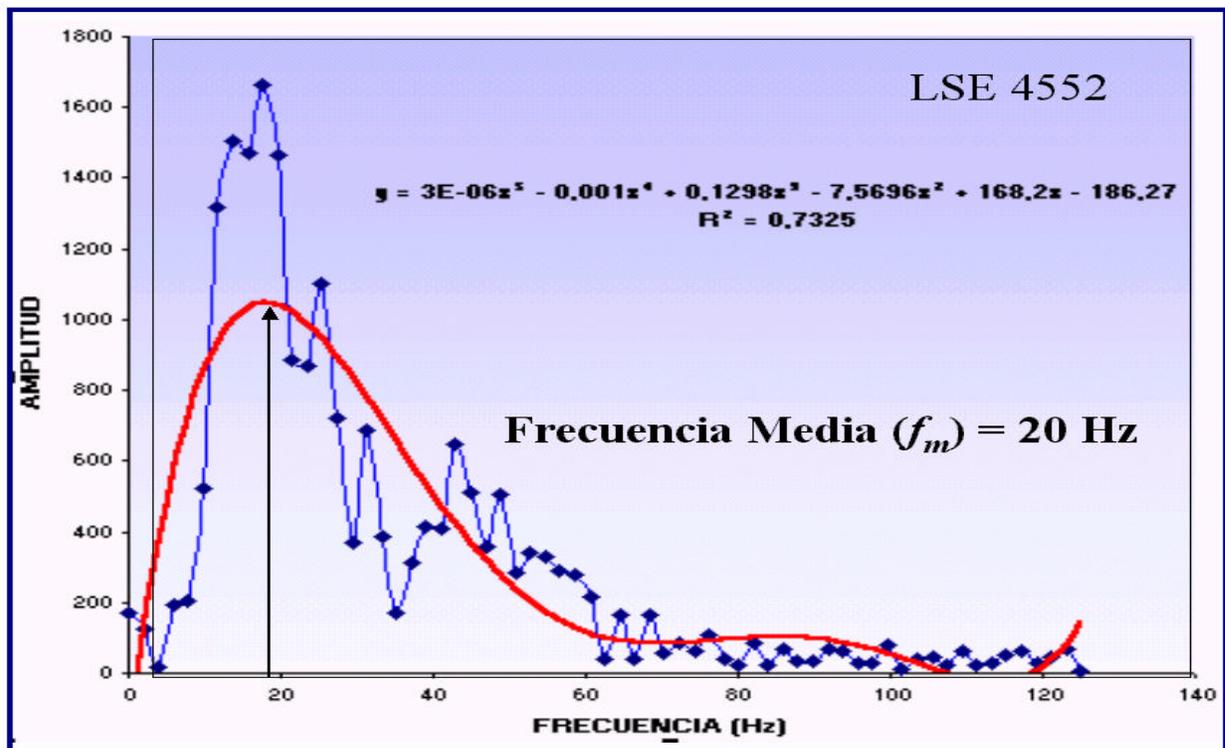


FIGURA 4.18 Espectro de amplitud correspondiente al pozo LSE 4552 pozo correspondiente al campo Tía Juana, se señala que la frecuencia media es de 20 Hz.

Calculada la frecuencia media del área, se procedió a calcular la resolución vertical para conocer el menor espesor de roca que se puede ver en la sísmica, si se considera la longitud de onda aparente  $\lambda$  de una ondícula de tipo Ricker (longitud de la ondícula) la resolución es considerada como:

$$\frac{l}{4} = \frac{V_{int}}{4 * f_{med}}$$

Donde:

$l$  : Longitud de onda aparente.

$\lambda$ : Resolución vertical o factor de entonación.

$$l = V_{int} / f_{med}$$

Donde:

$V_{int}$  : Velocidad intervállica

$f_{med}$  : Frecuencia media (Frecuencia máxima obtenida).

La velocidad intervállica fue calculada utilizando la siguiente formula:

$$V_{int} = \frac{2000 * (Tope \text{ de B} - Tope \text{ de A})}{(\text{Tiempo de B} - \text{Tiempo de A})}$$

donde el Tope de B y A es la profundidad entre los horizontes a las cuales se le quiere calcular la resolución, estos horizontes corresponde al intervalo de interés, y el Tiempo de B y A corresponde al tiempo del horizonte.

El cálculo de la resolución se realizó entre la Discordancia del Eoceno y la Formación Lagunillas, tope del Miembro Bachaquero, para un total de tres pozos del área, pozos que alcanzaban el intervalo de interés y que contaban con información de CheckShots: LS 5117, LS 5169 Y LSE 4552. A manera de ejemplo se presenta el cálculo de la resolución para el pozo LS 5117.

$$\frac{l}{4} = \frac{\left( \frac{2000 * (2804.10 \text{ pies} - 2041.38 \text{ pies})}{(852 \text{ ms} - 597.5 \text{ ms})} \right)}{4 * 20 \text{ Hz}} = \frac{5993.87 \text{ pies/s}}{80 \text{ Hz}} = 74.92 \text{ pies}$$

La tabla 4.22 resume la información de los parámetros velocidad interválica, frecuencia media, longitud de onda y resolución sísmica vertical en cada uno de los pozos, en el intervalo de la discordancia del Eoceno y Bachaquero.

<b>POZOS</b>	<b>V<sub>INT</sub> (pies/s)</b>	<b>F<sub>M</sub> (Hz)</b>	<b>l (pies)</b>	<b>l /4</b>
LS 5117	5993.87	20	299.69	77.48
LS 5169	6198.61	20	309.93	87.83
LS 4552	7027.05	20	351.35	74.92

**TABLA 4.22 Resumen de parámetros para el cálculo de la resolución vertical**

La resolución sísmica vertical promedio indica que se puede observar espesores de 79.3 pies en área de los campos Lagunillas y Tía Juana.

## **4.5 Calibración de la Información Sísmica**

La calibración sísmica - pozo tiene como objetivo principal establecer la correlación existente entre la información geológica y petrofísica de pozos con las trazas sísmicas. Esto se lleva a cabo mediante la generación de sismogramas sintéticos.

Se elaboraron 3 sismogramas sintéticos con el objeto de seleccionar los reflectores de la sección sísmica. Estos se generan mediante la convolución de una ondícula teórica, con el producto de los registros de densidad y velocidad previamente corregidos, indicando estos, el tiempo y la profundidad para los diversos reflectores. A continuación se muestra como se elaboraron los sismogramas sintéticos.

### ***4.5.1 Elaboración de Sismogramas Sintéticos***

El sismograma sintético consiste en la fabricación artificial, de una traza sísmica sintética, comparable al registrado en el terreno a partir de registros de velocidad (sónico) y de densidad (Bulk Density) en la zona de interés.

Como primer punto para el cálculo de los sismogramas sintéticos se considera convertir las curvas registradas en profundidad a una escala vertical en tiempo. Esto se puede hacer directamente si se dispone de una curva TZ generada a partir de los registros obtenidos con los tiros de verificación (Checkshots), o en su defecto se puede generar del registro sónico integrando el mismo, ya que este proporciona directamente tiempos de tránsito por pie.

A los registros sónicos se les requiere hacer ajustes por Checkshots para eliminar el efecto de lutitas, estas calibraciones o ajustes al registro sónico se realiza cuando el mismo pozo tiene su mismo CheckShots

Posteriormente se calcula el coeficiente de reflexión. Siendo este función de la impedancia acústica y a la vez función de velocidad y densidad. Para obtener la impedancia acústica, basta multiplicar el inverso del tiempo de tránsito del registro sónico por la densidad.

$$I = V * D$$

Donde:

- I = Impedancia Acústica
- V = Velocidad (ft/seg)
- D = Densidad (gr./cm<sup>3</sup>)

Una vez obtenida la impedancia acústica, se calcula el coeficiente de reflexión mediante la siguiente ecuación:

$$R(t) = \frac{(I_2 - I_1)}{(I_2 + I_1)} = \frac{(V_2 r_2 - V_1 r_1)}{(V_2 r_2 + V_1 r_1)}$$

Los coeficientes de reflexión representan la ubicación y magnitud de los cambios litológicos del subsuelo por lo que constituye el modelo geológico del mismo. Una vez calculada la función de coeficiente de reflexión R el siguiente paso es calcular el sismograma sintético, para ello se consideró lo siguiente: si en una fuente puntual se emite una señal como impulso de entrada f(t) y se hace propagar por la tierra, esta última actuará como un filtro g(t) y afecta a la señal a medida que la onda viaja, haciendo que la señal de salida h(t) tenga una forma diferente, entonces, la función g(t) es la función matemática que transforma la señal de entrada f(t) y que describe a la tierra como filtro y la operación que aplica f(t) y g(t) para dar la señal de salida h(t) es definida como convolución, la cual es denotada con un asterisco:

$$f(t) * g(t) = h(t)$$

Bajo ciertas condiciones, el producto de la convolución de dos funciones f y g está definido como:

$$h(t) = \int f(t - \tau) g(\tau) d\tau$$

En términos discretos se puede escribir para una traza sísmica ideal, como es el caso del sismograma sintético, de la siguiente manera:

$$h(t) = \sum_{i=0}^n R_i \delta(t - it)$$

Donde:

$h(t)$  representa la amplitud de la traza sísmica al tiempo  $t$ .

$R_i$  es el coeficiente de reflexión al tiempo  $t$

$\delta(t)$  es la ondícula fuente. Esto se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Registro Sísmico} = R * \text{Ondícula fuente} + \text{fluido}$$

Esta ondícula fuente es una ondícula teórica la cual se diseña de una determinada forma y frecuencia lo mas parecido posible a las ondas generadas por las fuentes sísmicas. Por último, la convolución de la función de coeficiente de reflexión  $R$  y la señal fuente (ondícula) nos dará el sismograma comparable con el registrado en la traza sísmica de reflexión superficial, a esto se le conoce como sismograma sintético.

En la elaboración de los sismogramas sintéticos se debe contar con los datos de profundidad final del pozo, topes geológicos, elevación de la mesa rotaria, datos de desviación y coordenadas de los pozos. Para la elaboración de los sismogramas sintéticos, se utilizó la herramienta *Syntool*<sup>TM</sup>, del menú de aplicaciones del software *OpenWorks*, correspondiente a la plataforma *LandMark*<sup>TM</sup>. Este programa facilita la elaboración de la traza sintética por lo cual se ajusta la fase y la frecuencia seleccionada que en este caso se aplicó la ondícula Ricker y permite que la traza se ajuste de acuerdo a ella. Esta onda está definida matemáticamente para representar la transmisión de un impulso a través de un material ideal con características similares a las de las rocas.

Para la elaboración de los sismogramas sintéticos, se realizó primeramente un inventario de los pozos que poseían registro sísmico y densidad con la finalidad de poder elegir aquellos donde ambos registros cotejaban y estuvieran dentro del intervalo de interés. En este trabajo, se realizó la calibración sísmica de los pozos LS-5117; LS-5169 y LSE-1838A, los cuales estuvieron centrada en estos pozos que poseían registro sísmico y densidad corridos directamente, por lo que no se generaron pseudos registros, y demás registros necesarios para elaborar el sismograma, logrando definir los reflectores sísmicos a interpretar, asociados a los topes del Miembro Lagunillas Inferior, Miembro Laguna, Miembro Bachaquero de la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno. A continuación se muestra la tabla 4.23 las profundidades corridas a los registros.

<b>POZO</b>	<b>Intervalo del Registro Sónico (DT) pies.</b>	<b>Intervalo del Registro Densidad (RHOB)</b>
LS 5117	164-2851	1847-2905
LS 5169	181-2885	164-2913
LSE 1838A	160-2050	143-2000

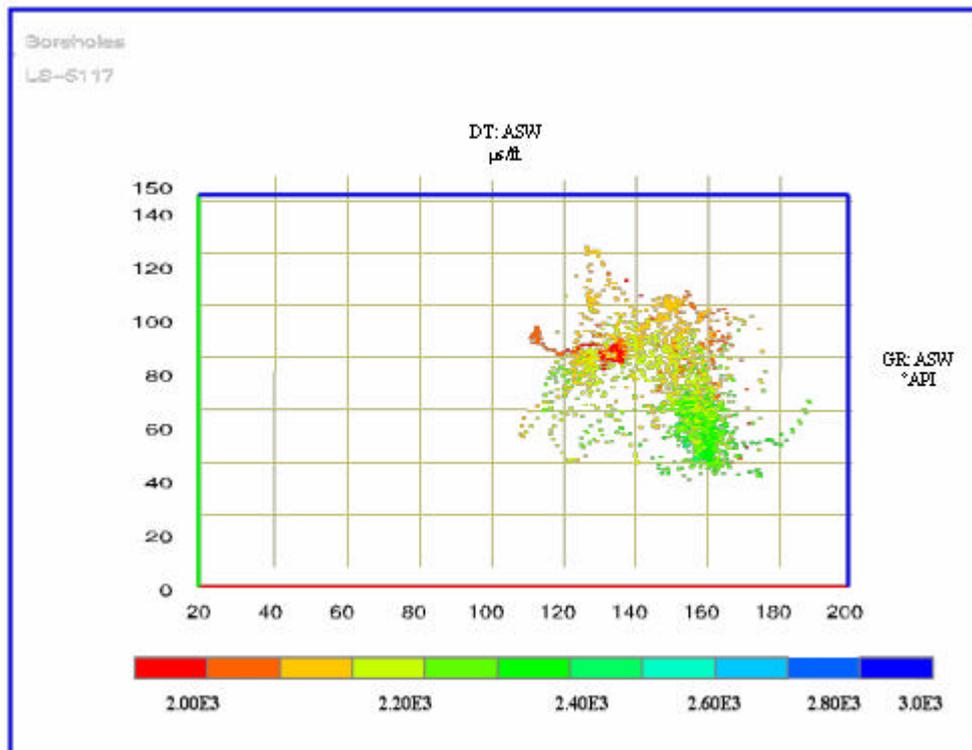
**TABLA 4.23 Inventario de pozos con registro sónico y densidad.**

Se tomaron sintéticos de estos pozos debido a que los registros sínicos y densidad estaban en el intervalo de interés.

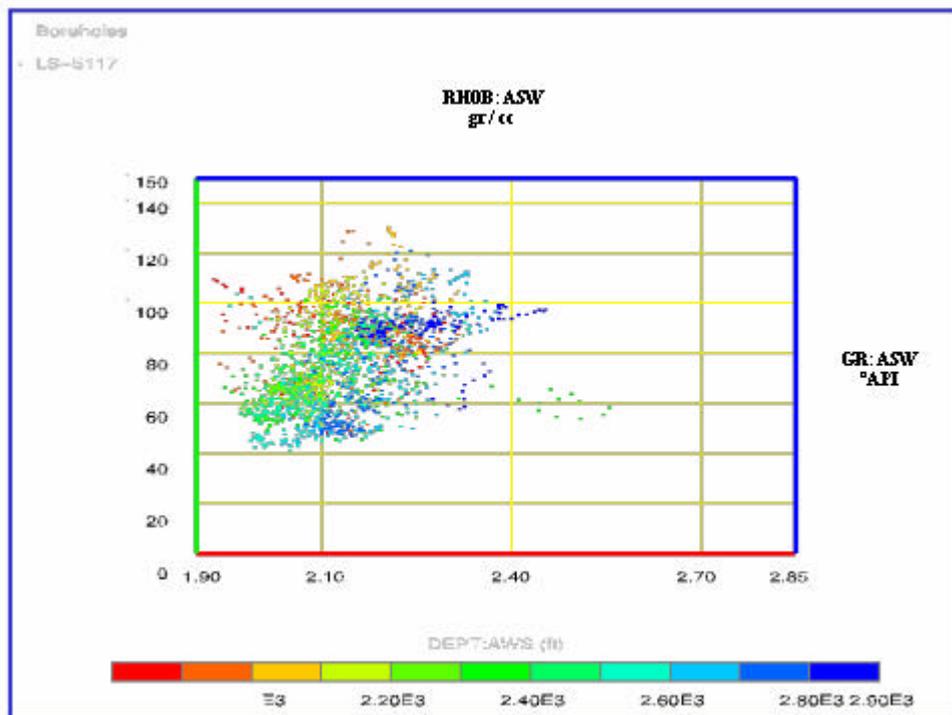
El intervalo de interés correspondiente al área de estudio está constituido por arenas no consolidadas, por lo que se hizo necesario hacer un estudio previo del comportamiento de los registros sónico corridos para cada pozo ya que estas constituyen uno de los medios más difíciles para ser atravesados por ondas acústicas. Este tipo de roca puede visualizarse como un agregado de granos de arena en contacto mutuo, sin el beneficio de la cementación o de compactación apreciable. Esta estructura no ofrece la rigidez necesaria para sustentar la onda acústica y por esta razón existe la tendencia a producir saltos de ciclo dando como resultado que los tiempos de tránsito registrados a través de arenas no consolidadas no sean confiables.

En las arenas productoras los valores del tiempo de tránsito para las arenas no consolidadas se incrementa proporcionalmente en relación a masa y volumen de arcillas. Estas arenas se tienen en poca profundidad, algunos de estos reservorios tienen baja saturación de agua, alta saturación de hidrocarburo residual y una pequeña invasión. Por lo que los valores del tiempo de tránsito son en algunas ocasiones más altos que en zonas con saturación de agua en la misma formación (Western Atlas, 1992).

Se generaron gráficos cruzados (crossplots), utilizando la aplicación Geoplot<sup>TM</sup> de la plataforma Geoframe<sup>TM</sup>, de los registros sínicos y densidad contra litología (rayos gamma) en los pozos donde se contaban con ambos registros, para así, verificar la validez del registro sónico e identificar a cual de los registros ya sea sónico o densidad respondía a la formación de interés. A continuación se muestran las figuras 4.19, 4.21, 4.23, 4.25 y 4.27 correspondientes a los crossplots de registros sónico vs. litología y las figuras 4.20, 4.22, 4.24, 4.26 y 4.28 correspondientes a los registros densidad vs. litología.



**FIGURA 4.19** Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo LS-5117. Observándose una tendencia arbitraria del registro sónico con respecto a la profundidad.



**FIGURA 4.20** Crossplot entre registro de densidad y rayos gamma en el pozo LS-5117. Observándose una tendencia de los valores de densidad con respecto a la profundidad.

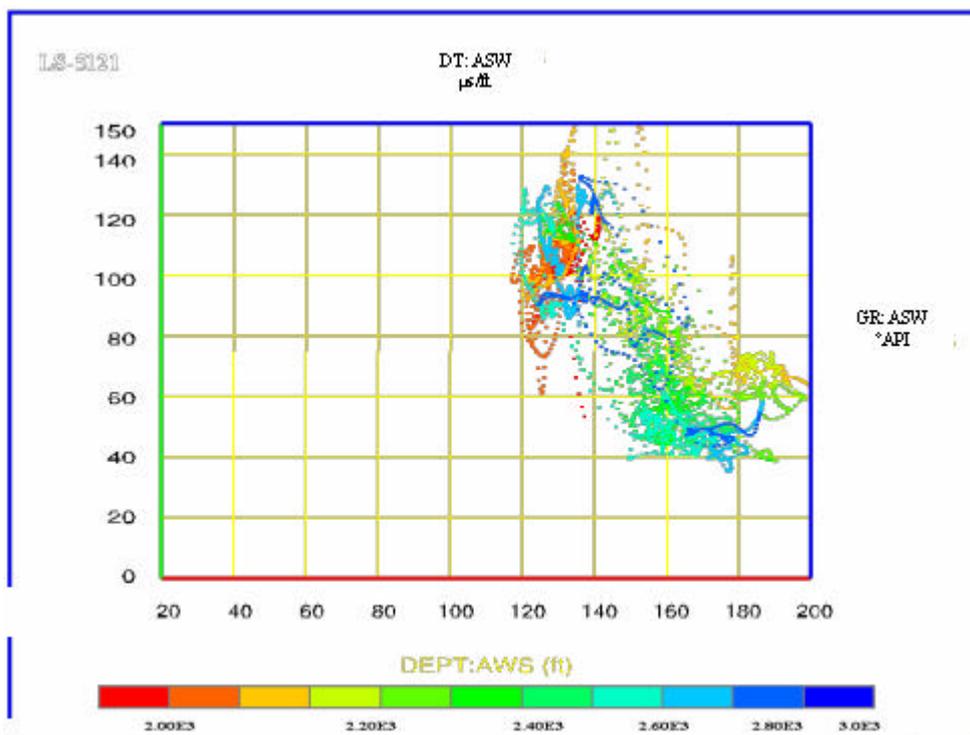


FIGURA 4.21 Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo LS-5121. Observándose una tendencia arbitraria del registro sónico con respecto a la profundidad

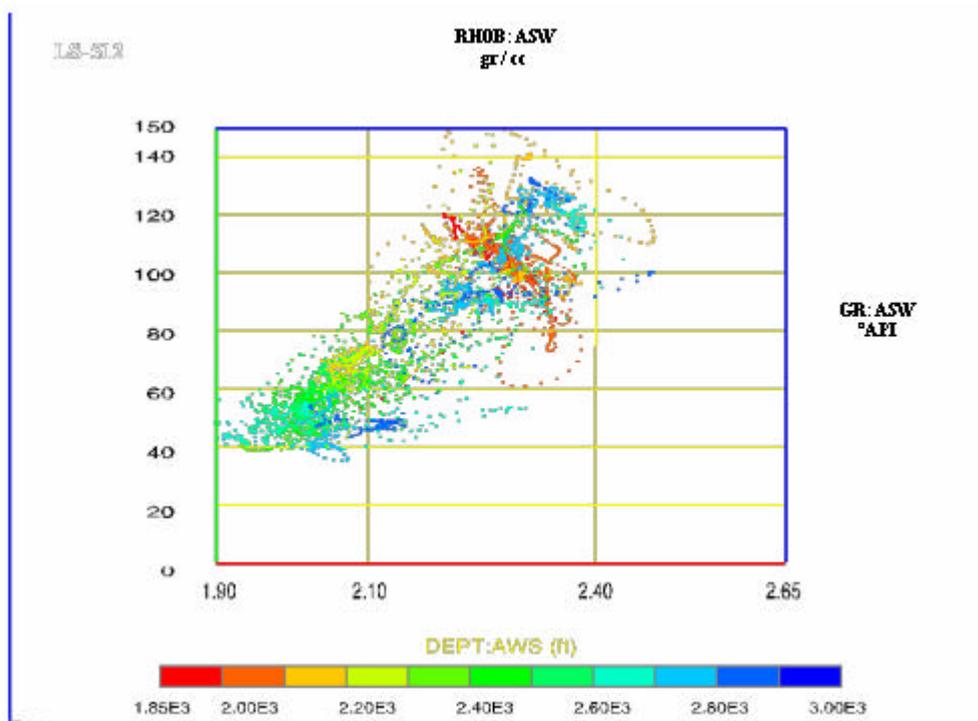


FIGURA 4.22 Crossplot entre registro de densidad y rayos gamma en el pozo LS-5121. Observándose una tendencia de los valores de densidad con respecto a la profundidad.

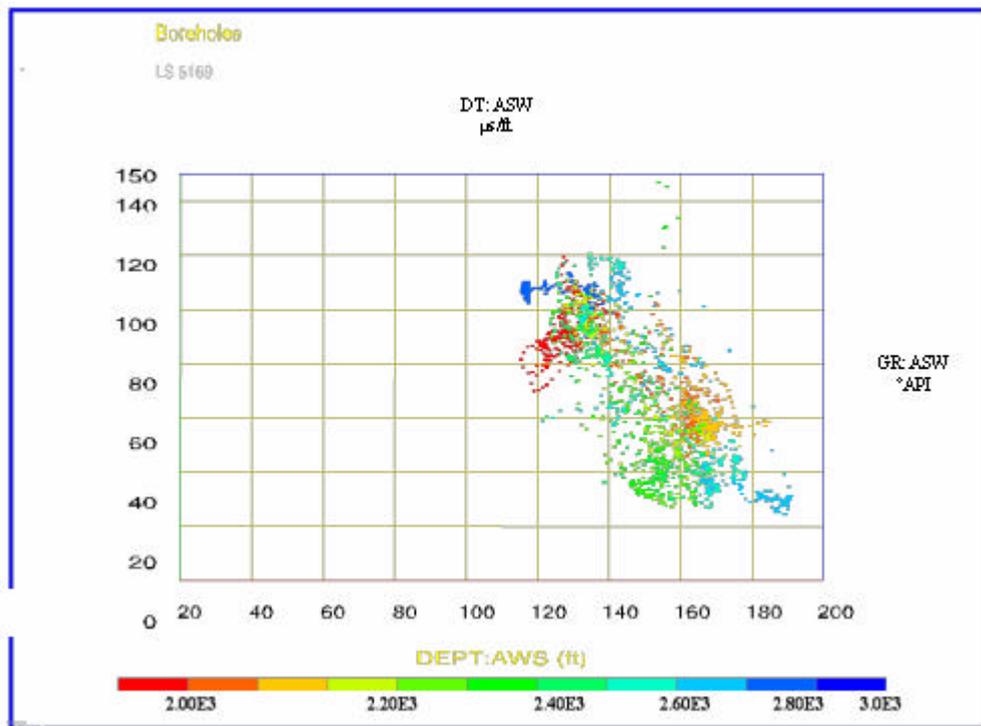


FIGURA 4.23 Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo LS-5169. Observándose una tendencia arbitraria del registro sónico con respecto a la profundidad

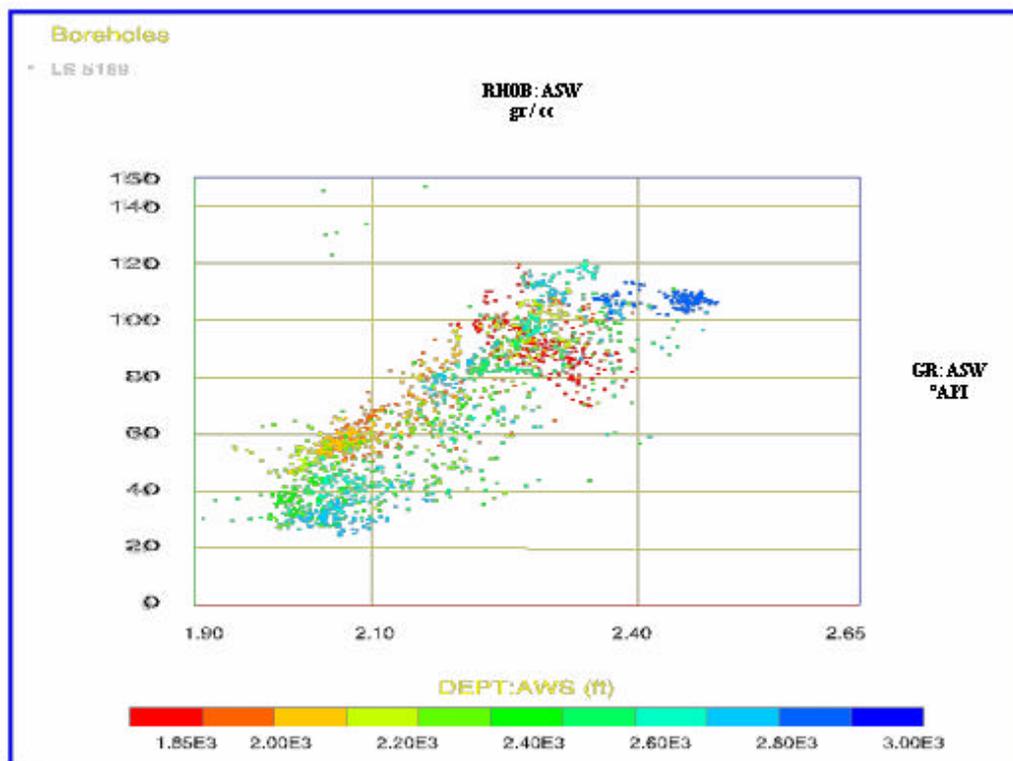


FIGURA 4.24 Crossplot entre registro de densidad y rayos gamma en el pozo LS-5169. Observándose una tendencia de los valores de densidad con respecto a la profundidad

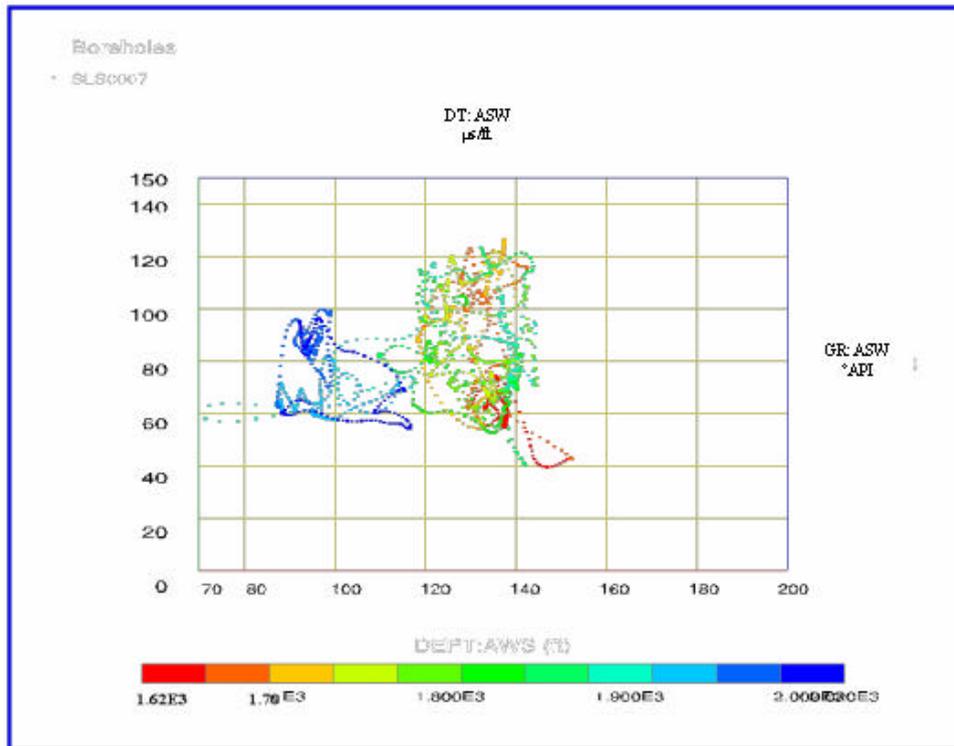


FIGURA 4.25 Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo SLS-0007. Observándose una tendencia arbitraria del registro sónico con respecto a la profundidad

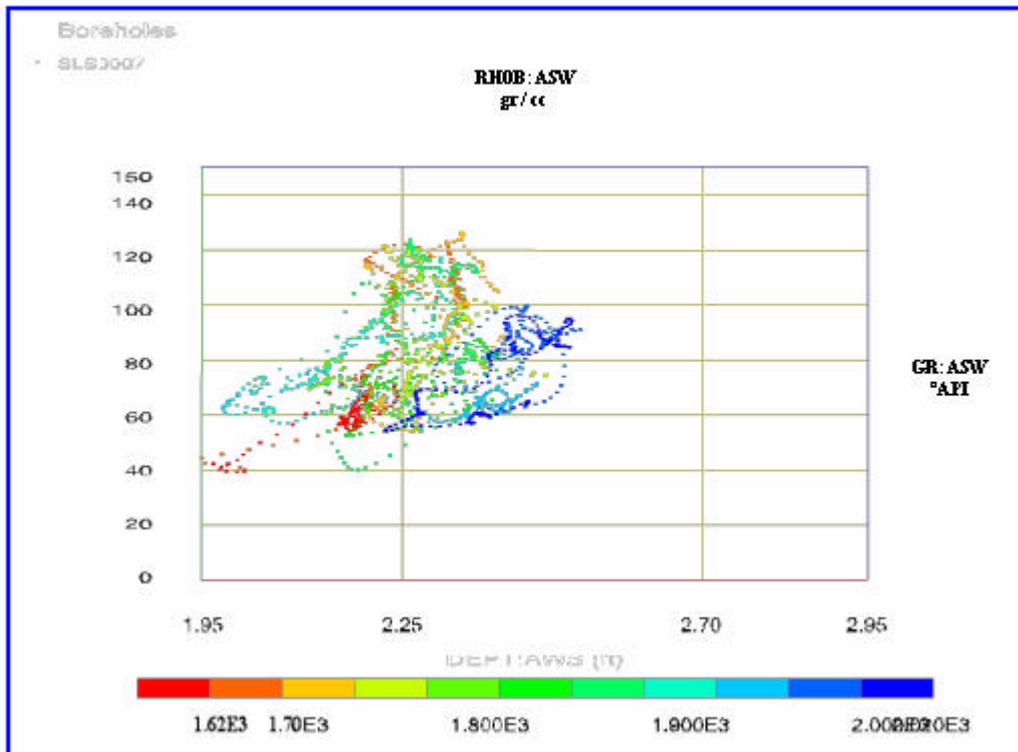


FIGURA 4.26 Crossplot entre registro de densidad y rayos gamma en el pozo SLS-0007. Observándose una tendencia de los valores de densidad con respecto a la profundidad

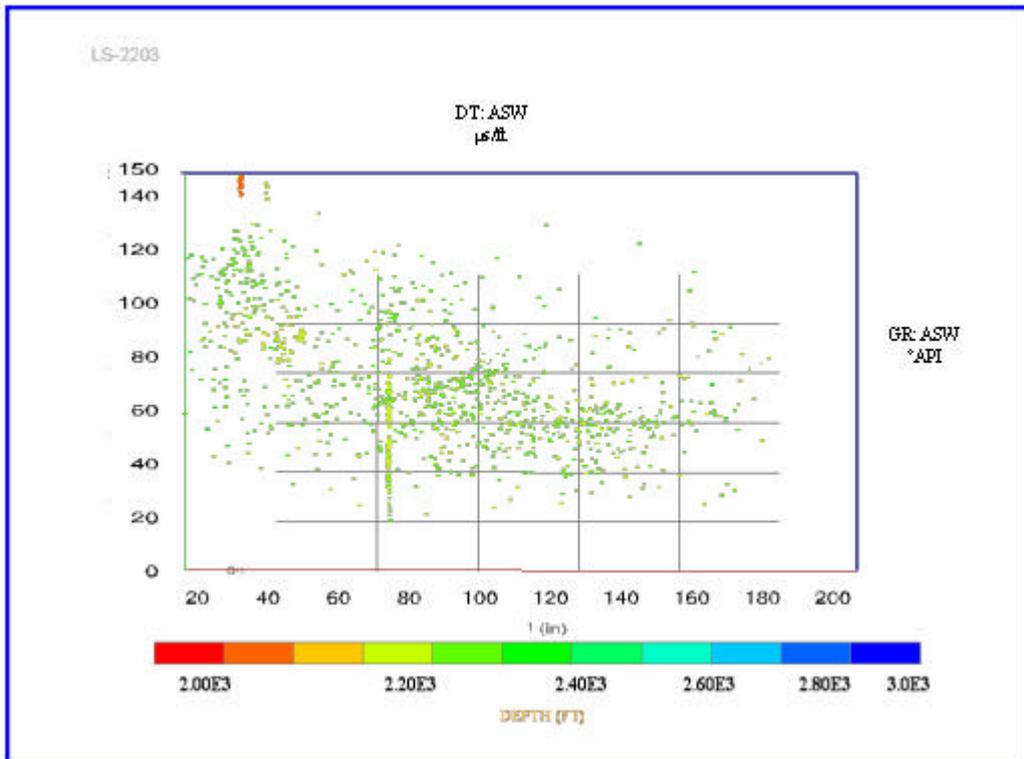


FIGURA 4.27 Crossplot entre registro sónico y rayos gamma en el pozo LS-2203. Observándose una tendencia arbitraria del registro sónico con respecto a la profundidad

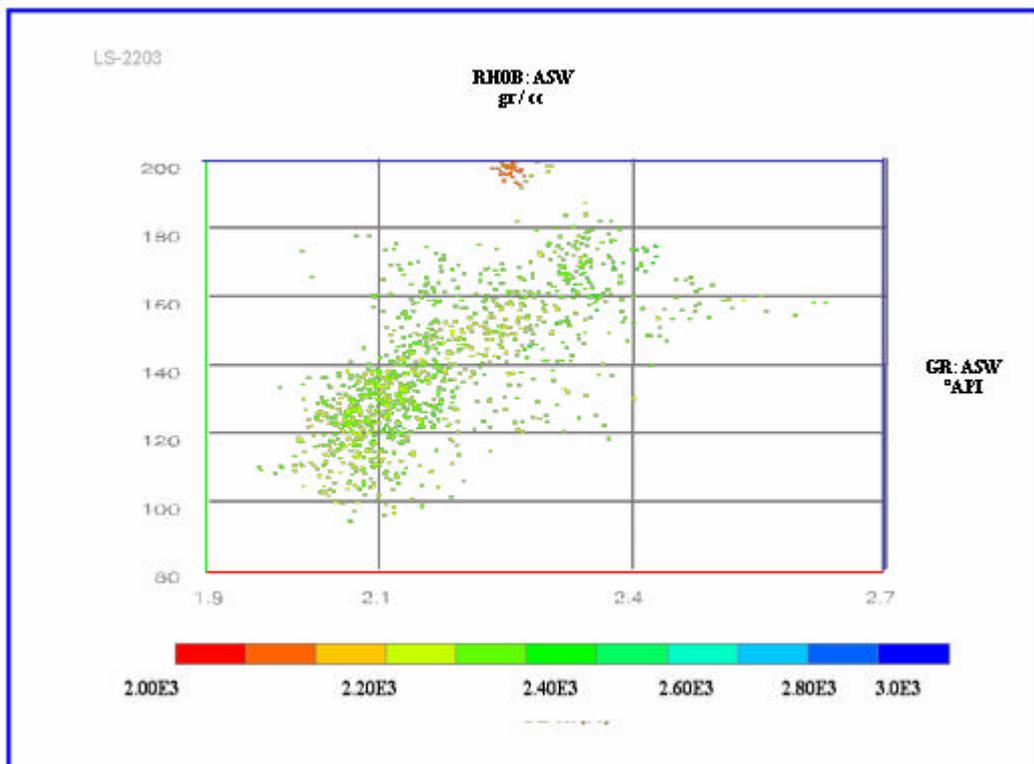


FIGURA 4.28 Crossplot entre registro de densidad y rayos gamma en el pozo LS-2203. Observándose una tendencia de los valores de densidad con respecto a la profundidad.

Se puede observar que en las figuras 4.19, 4.21, 4.23, 4.25 y 4.27 correspondientes a los crossplots de registro sónico contra rayos gamma de los pozos LS-5117; LS-5169; LS-5121; LS-2203 y SLS-0007, se observa que la variación del registro sónico con la profundidad es completamente aleatoria mientras que en la figura 4.20, 4.22, 4.24, 4.26 y 4.28 correspondiente a los crossplots entre los registros de densidad y rayos gamma en los mismos pozos, se observa que los valores de densidad varía con respecto a la profundidad siguiendo una tendencia o patrón. De esto se puede concluir que la formación puede estar respondiendo a los valores de densidad y no a los de velocidad, por lo que se sugiere que los registros sínicos son pocos confiables.

Luego, se procedió a calcular los coeficientes de reflexión a partir de Syntool<sup>TM</sup>, utilizando como primer paso para el cálculo de este, ambos registros (sónico y densidad) y luego utilizando un solo registro, en este caso, se llegó a la misma conclusión del análisis anterior, que la formación no responde a la velocidad, sino a la densidad.

En la realización de los sintéticos se graficaron: 1) curvas de Gr. para identificar litología; 2) sónico antes y después de la corrección por Checkshot; 3) la curva de velocidad calculada del sónico corregido; 4) la curva de densidad (RHOB y ZDEN); 5) la impedancia y la ondícula usada y 6) la traza sintética y su superposición con la sísmica.

En la figura 4.29 se muestra el sismograma sintético realizado en el pozo LS 5117. En el panel del sismograma sintético se puede observar, la primera columna de la izquierda se observa el escalamiento tanto en tiempo como en profundidad, la siguiente columna se tiene la curva de (color rojo) es un registro sónico corrido en el pozo, la siguiente también de (color rojo) es el registro sónico corregido, la curva de (color verde) es el registro de densidad, el coeficiente de reflectividad esta representada panel de (color azul), luego se observa el grado de correlación entre la ondícula extraída de la sísmica y la ondícula sintética y por último se distingue un conjunto de ondículas extraídas de la sísmica (color azul) con la curva sintética generada (color rojo).

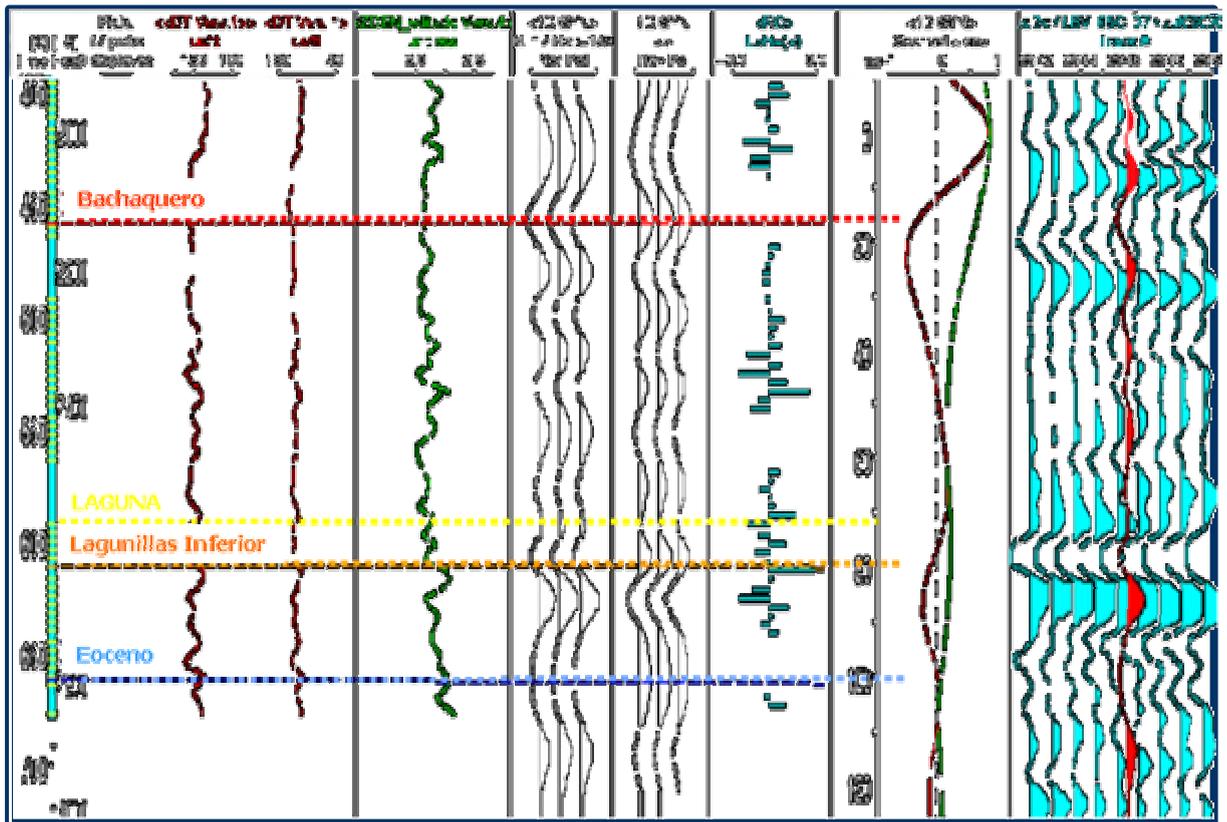


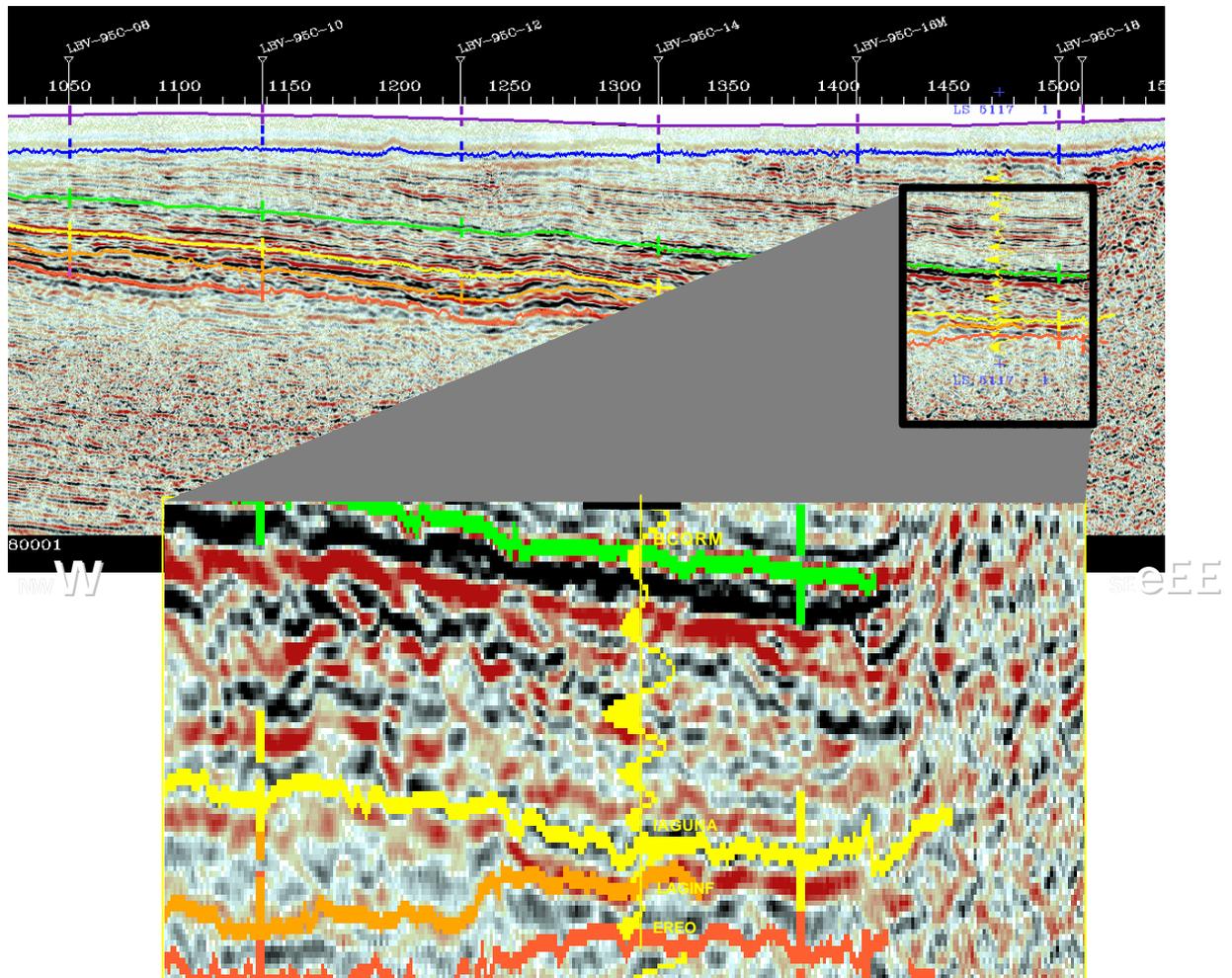
FIGURA 4.29 Sismograma sintético correspondiente al pozo LS 5117.

A continuación se muestra en la Tabla 4.24 los parámetros de la ondícula en cada uno de los pozos que se le generaron el Sismograma Sintético

Pozo	Tipo de Ondícula	Frecuencia (HZ)	Polaridad	Ganancia (ms)	Coefficiente de Correlación
LS 5117	Ricker	17	Normal	260	60%
LS 5169	Ricker	18	Normal	250	61%
LSE 1838	Ricker	19	Normal	210	41%

TABLA 4.24 Parámetros obtenidos en la generación de los sismogramas sintéticos

La figura 4.30 muestran las traza sintética desplegada en la líneas sísmicas LBV-95C-07 con dirección NO-SE.



**FIGURA 4.30** Sismograma sintético desplegado en la línea sísmica LBV-95C-07 con dirección NO-SE. El color rojo corresponde a la discordancia del Eoceno, el naranja al Miembro Lagunillas Inferior, el amarillo al Miembro Laguna y el verde al Miembro Bachaquero.

## 5. INTERPRETACIÓN DE DATOS SISMICOS

### 5.1. Interpretación Estructural

La interpretación estructural de datos sísmicos, basada en la correlación de horizontes, fallas, ha sido tradicionalmente una herramienta muy utilizada para conocer la geometría del subsuelo. Esto ha permitido descubrir importantes campos de hidrocarburos a nivel mundial.

Para definir el marco geológico estructural correspondiente al campo Tía Juana y Lagunillas se utilizó la metodología de interpretación sísmica descrita en el primer capítulo mediante la aplicación del programa *SeisWork2D<sup>TM</sup>* de la plataforma *Landmark<sup>TM</sup>*.

La etapa más importante de la interpretación estructural radica en el amarre de los datos sísmicos con los datos geológicos, sin embargo, el primer paso que se realizó para obtener un mejor resultado en la interpretación de los datos sísmicos, fue el ajuste del nivel de referencia (“Datum”) de cada una de las líneas sísmicas 2D a partir del “Misties Options” del programa *SeisWork2D<sup>TM</sup>*, el cual es capaz de realizar el cómputo de las diferencias entre los niveles de referencias (“shifts”) constantes y variables en tiempo de cada una de las secciones sísmicas, así como también permite realizar esta operación manualmente a través del intérprete. A diferencia del cubo de datos sísmicos 3D, el cual posee el mismo nivel de referencia (“Datum”) para todas sus líneas y además se diferencia sustancialmente de la convencional interpretación 2D, debido al volumen de información manejada y a las posibilidades de visualización de pequeñas estructuras producto de su mayor densidad de líneas. A continuación se muestra una tabla en donde se especifican los valores correspondientes a los ajustes (“shifts”) en sus niveles de referencias, aplicados a cada una de las secciones sísmicas. (Tabla 5.1).

<b>LÍNEAS SÍSMICAS</b>	<b>SHIFT</b>
LBV-95C-04M	83
LBV-95C-04	84
LBV-95C-06M	81
LBV-95C-06	81
LBV-95C-08M	94
LBV-95C-08	90
LBV-95C-10M	90
LBV-95C-10	90
LBV-95C-12M	81
LBV-95C-12	82
LBV-95C-14M	86
LBV-95C-14	88
LBV-95C-16M	83
LBV-95C-16	83
LBV-95C-18M	81
LBV-95C-18	84
LBV-95C-20M	65
LBV-95C-20	90
LBV-95C-01	72
LBV-95C-03	76
LBV-95C-05	90
LBV-95C-07	91
LBV-95C-09	90
LBV-95C-11	81
ZO-91C-03	-208
ZO-91C-34	-60
ZO-91C-30	-92
ZO-91C-38	-210
ZO-91C-42	-410
ZO-91C-44	-90
ZO-91C-48	-370
ZO-91C-52	-385
ZO-91C-07	-190
ZO-91C-05	-90
ZO-91C-09	-215
ZO-91C-26	-70
ZO-91C-28	-95
ZO-91C-36E	-300
CPB-95-06	70
CPB-95-02	-40
CPB-95-01	76
CPB-95-08	70
CPB-95-10	90
CPB-95-12	-200
CPB-95-14	-200

**TABLA 5.1** Valores aplicados para el ajuste de los niveles de referencias de cada una de las secciones sísmicas 2D, correspondientes a los proyectos de los campos Tía Juana y Lagunillas.

De esta manera todas las líneas sísmicas utilizadas en el mallado de la interpretación quedan ajustadas, a fin de continuar con el siguiente paso de la interpretación.

### ***5.1.1 Interpretación de horizontes***

Para definir el marco estructural del área de estudio, se realizaron mapas estructurales en tiempo y profundidad de tres (3) reflectores de Edad Mioceno y la discordancia del Eoceno.

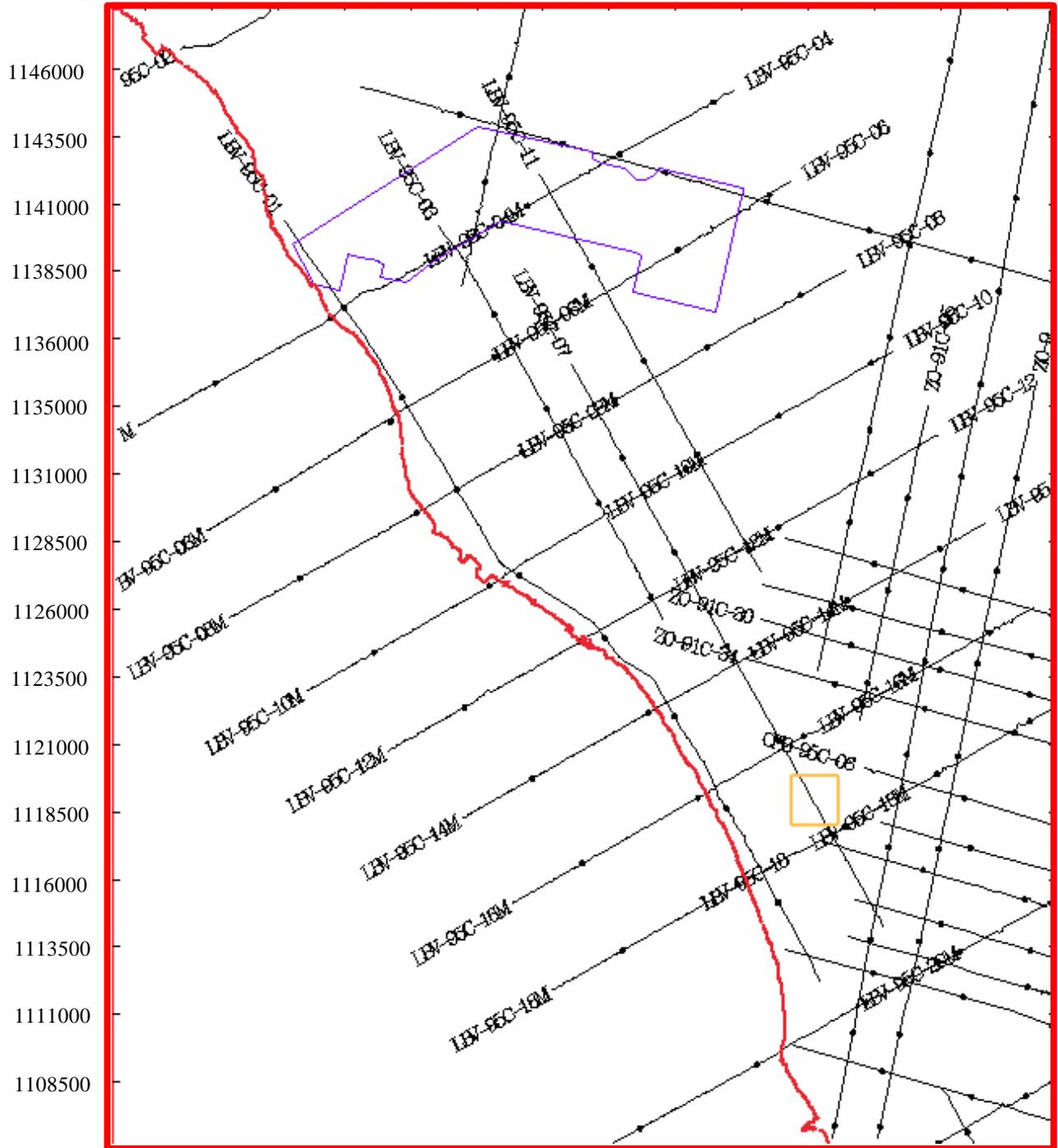
El área de interés de la Unidad de Explotación de Tierra Este Pesado comprende tres levantamientos, correspondiente a los proyectos Lagunillas-Bachaquero (LBV), Cabimas-Pueblo Viejo (CPB) y Zulia Oriental (ZO), (Fig.5.1). El área interpretada se encuentra enmarcada por las líneas orientadas en sentido NE-SO y NO-SE líneas en sentido a la estructura. Una vez calibrada la sísmica con la información de pozos, a través de los sismogramas sintéticos, se procedió a la identificación e interpretación de los horizontes.

La interpretación de horizontes se realizó con la opción “autodip” a partir de “interpreter horizon” de *SeisWork2D<sup>TM</sup>*, esta opción define una línea invisible que representa el buzamiento de dos puntos señalados a lo largo de un horizonte y sigue automáticamente la amplitud máxima dependiendo de la polaridad escogida para el horizonte y dentro de una ventana definida por los puntos de inflexión sobre y bajo la línea definida (LandMark, 1995).

Una vez escogido el reflector en las zonas donde puede definirse su continuidad, este se sigue a lo largo de toda la sección utilizando el cursor y marcando con el mismo a través de este. Al perderse la continuidad del evento se deja el espacio sin interpretar, continuando su seguimiento en áreas donde por medio de la correlación se pueda identificar de nuevo el mismo evento. Posteriormente, se culmina, en forma manual, los espacios no interpretados con el “autodip”.

Se realizó la interpretación de los topes de la discordancia del Eoceno, miembros Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero. En la tabla 5.2 se señala los horizontes interpretados en los campos Tía Juana y Lagunillas.

232000 234500 237000 239500 242000 244500 247000 249500 252000 254500 257000 259500 262000 264500

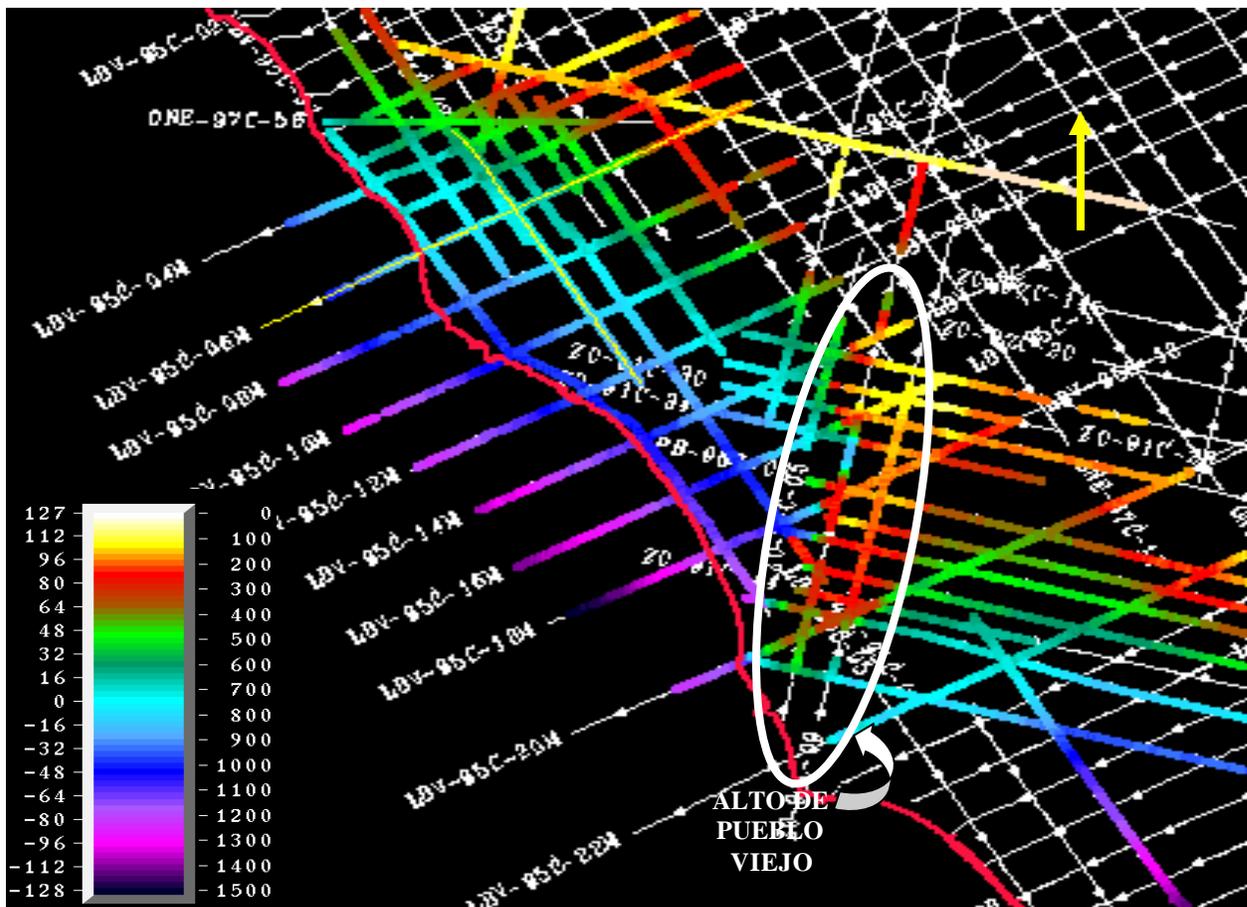


**FIGURA 5.1** Mapa de ubicación del área de interés de la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado en el proyecto 2D/3D correspondiente a los campos Tía Juana y Lagunillas.

Topes Geológicos Interpretados	Nomenclatura	Amplitud Mapeada
Tope miembro Bachaquero	BCQRM	Mínimo
Tope miembro Laguna	LAGS	Máximo
Tope miembro Lagunillas Inferior	LAGINF	Mínimo
Discordancia del Eoceno	ER-EO	Mínimo

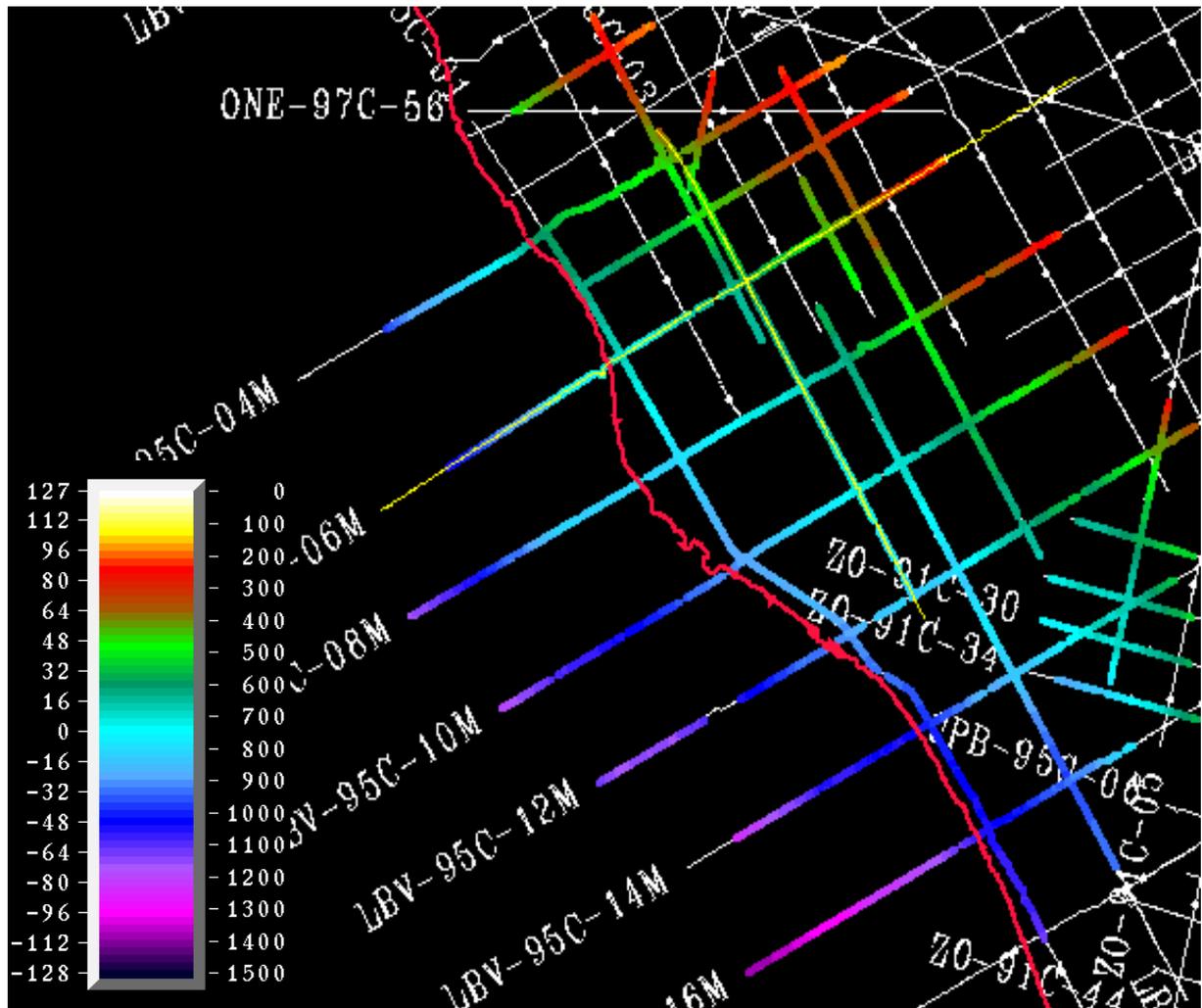
**TABLA 5.2 Horizontes interpretados para definir marco estructural**

La discordancia del Eoceno fue interpretada como un máximo de amplitud con polaridad negativa, lo que indica un decrecimiento o valle en el contraste de impedancia acústica. Los tiempos de la discordancia del Eoceno varían desde 150ms a 1500ms (Fig.5.2). Los menores tiempos para este horizonte se encontraron en la zona noreste del área y los más profundos en la zona oeste, además se observa la presencia del alto estructural Pueblo Viejo, el cual se identifica al sur-este del área de estudio.



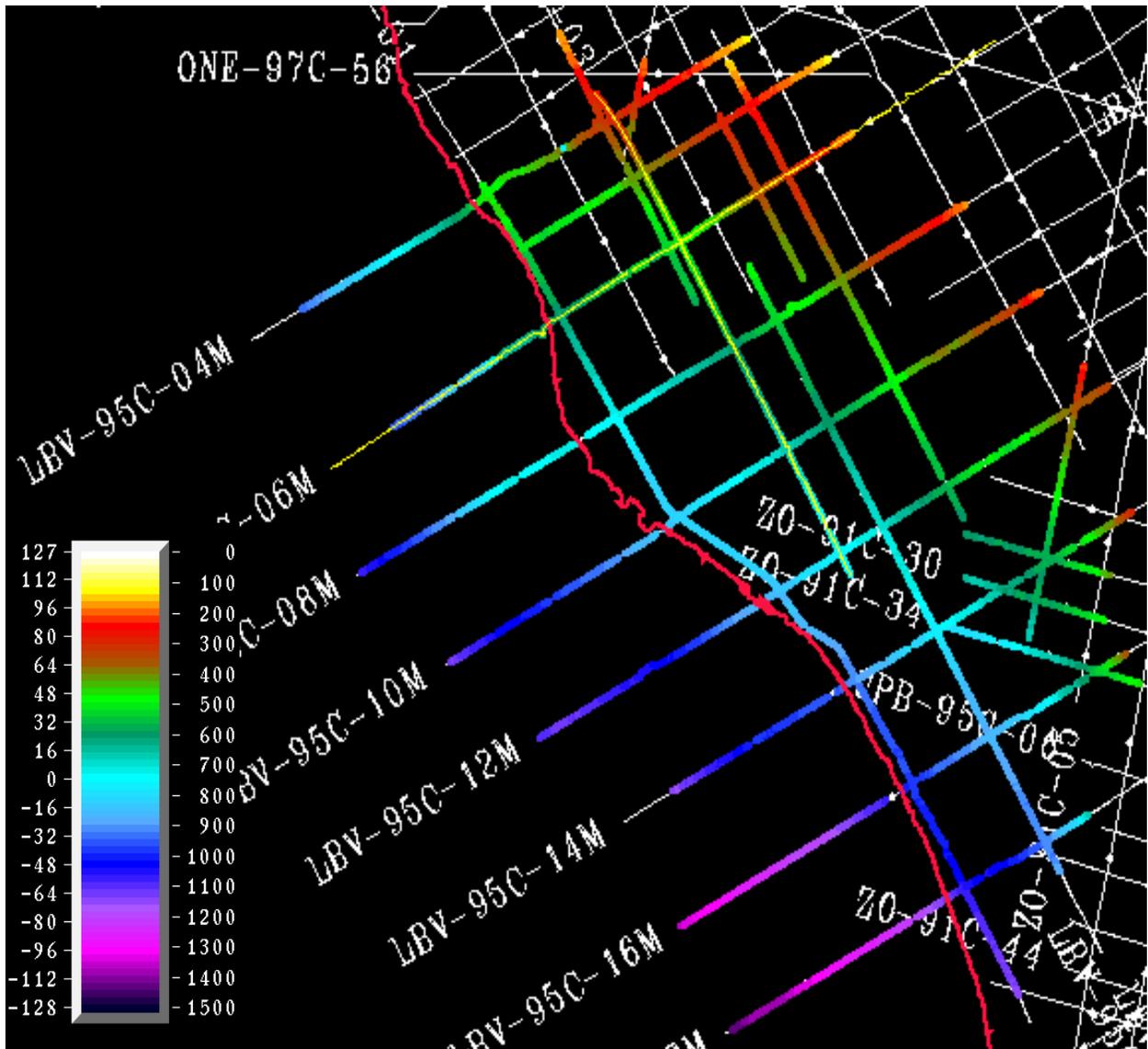
**FIGURA 5.2. Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente a la discordancia del Eoceno.**

El reflector sísmico del miembro Lagunillas Inferior se profundiza desde el noreste hacia el oeste del área. La interpretación de este miembro de la Formación Lagunillas, de edad Mioceno Medio, fue interpretada como un máximo de amplitud con polaridad negativa, que al igual que el horizonte anterior representa un decrecimiento o valle en el contraste de impedancia acústica. Los tiempos del tope del miembro Lagunillas Inferior comprenden un intervalo que va desde 300ms hasta 1400ms, este miembro se acuña al noreste hasta alcanzar la superficie (Fig. 5.3).



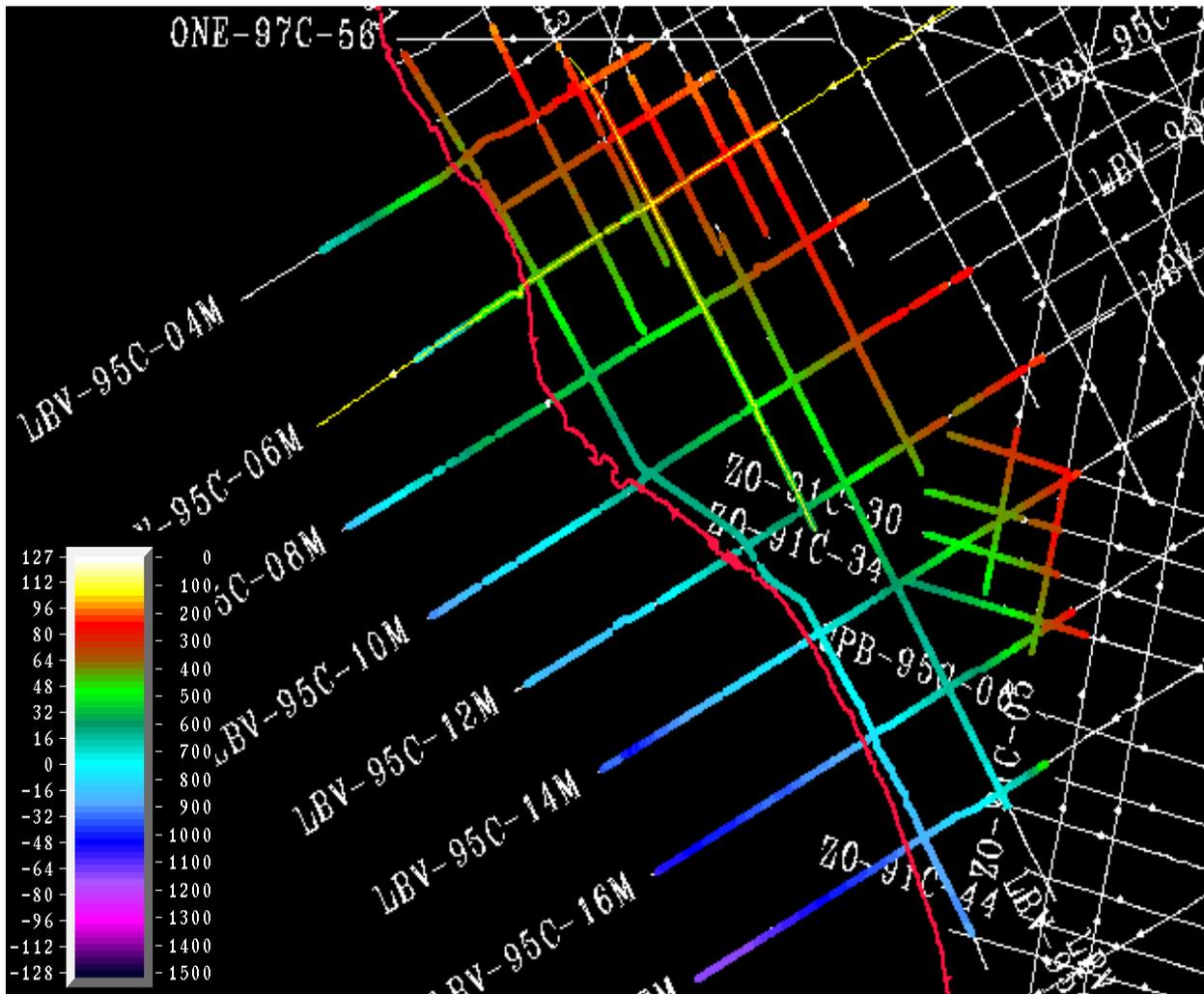
**FIGURA 5.3.** Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al miembro Lagunillas Inferior.

En cuanto al miembro Laguna de la Formación Lagunillas, su tope fue interpretado como un máximo de amplitud con polaridad positiva, lo que indica un aumento o pico en el contraste de impedancia acústica. Para la interpretación del tope del miembro Laguna se obtuvo un tiempo mínimo de 300ms y un tiempo máximo de 1300ms. Esta sección se acuña al noreste, al igual que el miembro Lagunillas Inferior. También se observa que no se tiene la presencia del alto Pueblo Viejo (Fig. 5.4).



**FIGURA 5.4.** Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al miembro Laguna.

El tope del miembro Bachaquero de edad Mioceno fue interpretado como un máximo de amplitud con polaridad negativa. Los tiempos dobles de este horizonte varían desde 200ms hasta 1200ms. En la figura 5.5 se muestra el mallado correspondiente a la interpretación del tope del Miembro Bachaquero, se puede observar que el área interpretada es menor, producto del acuñaamiento anticipado al noreste de este nivel.

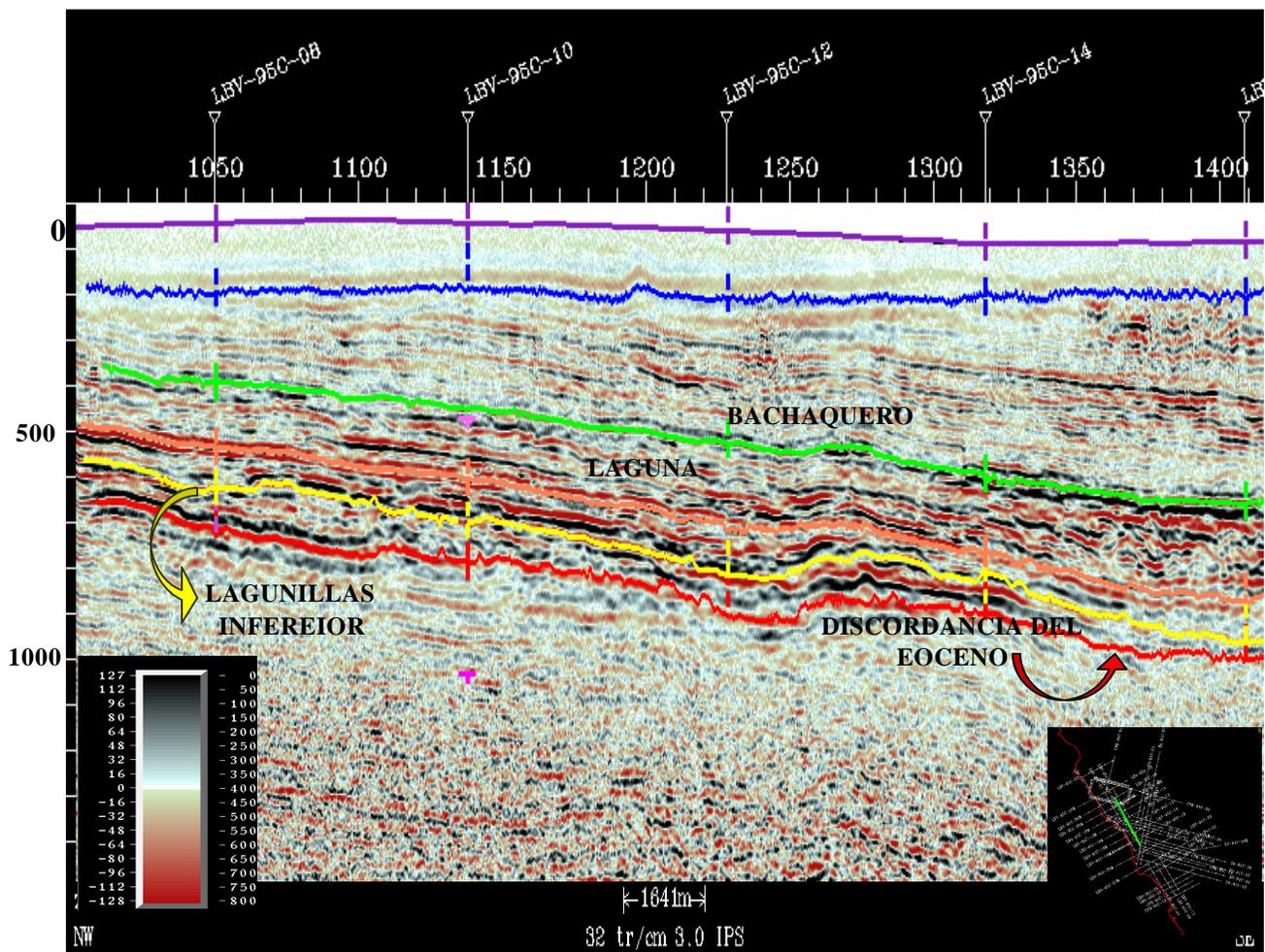


**FIGURA 5.5. Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D correspondiente al miembro Bachaquero.**

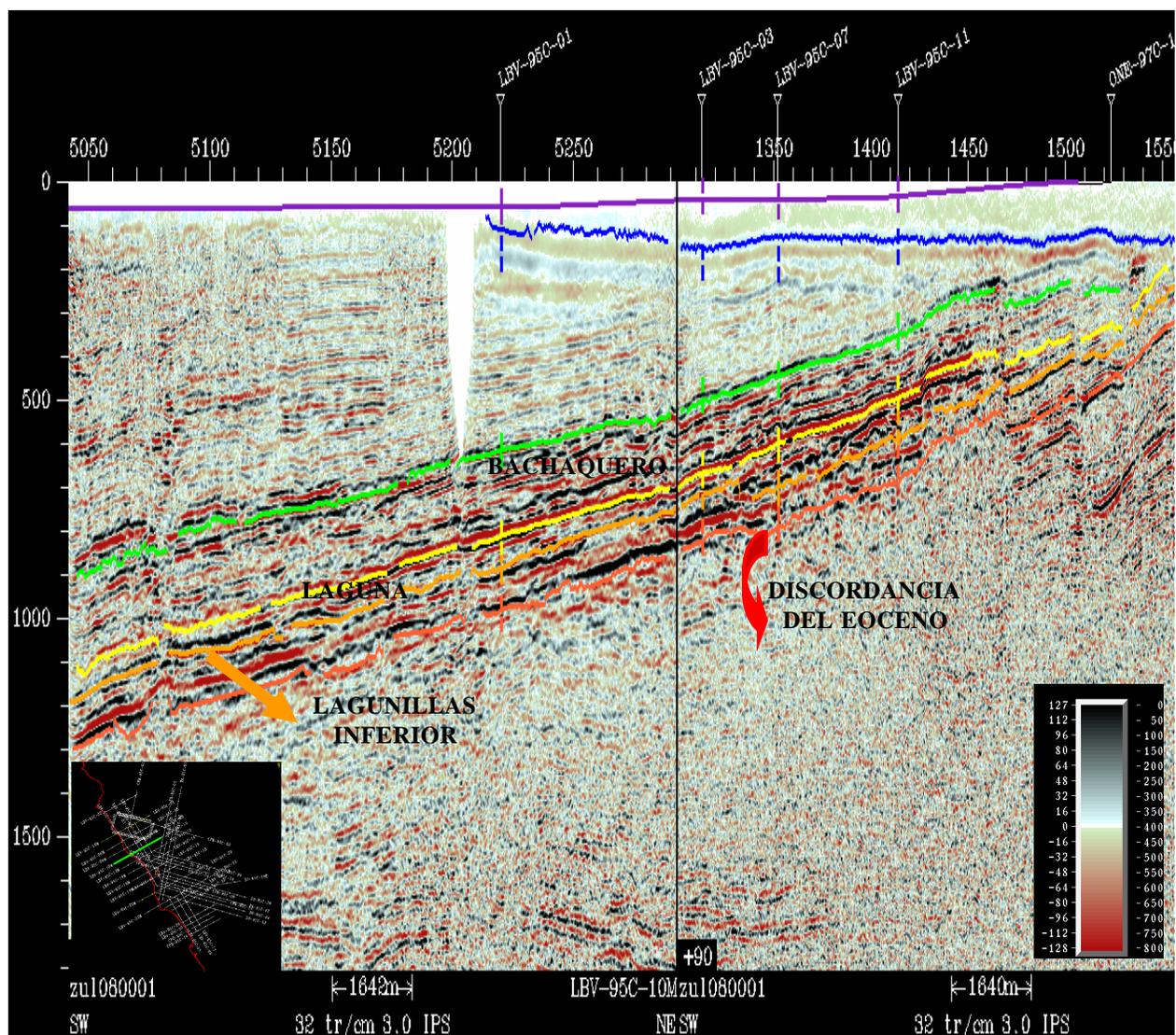
Los horizontes de cada uno de los topos interpretados guardan cierto paralelismo, sus mayores valores en tiempo o profundidades se encuentran en las zonas oeste y sur del área de estudio, siguiendo un comportamiento similar para cada uno de los reflectores seleccionados.

Las figuras 5.6 y 5.7 se representan secciones verticales en donde se muestran cada uno de los horizontes interpretados de la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno correspondiente al área estudio, se observa también que los horizontes más profundo en el caso de las secciones NO-SE los tenemos al SE, mientras que en las secciones SO-NE las tenemos al SO.

Para lograr la óptima interpretación de los datos sísmicos 2D es necesario amarrar cada una de las líneas interpretadas, logrando así un mallado controlado, por las intersecciones entre estas líneas, permitiendo tener un mayor número de puntos de control para la interpolación y la generación de una superficie en tiempo del horizonte de interés, para la elaboración de los mapas en tiempo.



**FIGURA 5.6** Sección sísmica NO-SE correspondiente a la línea LBV-95C-07, paralela a la estructura mostrando horizontes interpretados en el área.



**FIGURA 5.7** Sección sísmica SO-NE correspondiente a la línea LBV-95C-10M Y LBV-95C-10, mostrando horizontes interpretados en el área.

### ***5.1.2. Interpretación de fallas.***

Antes de iniciar la interpretación de las fallas se realizó una visualización detallada de las líneas sísmicas bidimensionales, para determinar las discontinuidades existentes en las mismas, que pudieran dar indicios de fallamientos, también las zonas de fallas se reconocen por las difracciones producidas cuando la onda compresional choca contra un borde de la estructura, lo que produce una interrupción en la continuidad de los horizontes. Es importante resaltar, que no toda interrupción de un horizonte representa necesariamente una zona de fallas, por lo que se hace necesario analizar diferentes secciones y verificar la consistencia en el patrón de esta interrupción.

Para este caso la interpretación de las fallas en líneas sísmicas 2D correspondiente a los campos Tía Juana y Lagunillas, se realizó a partir de “fault” aplicación de *SeisWork2D<sup>TM</sup>*, esta opción define líneas que representan las discontinuidades, en el punto donde se pierda la continuidad del reflector. La figura 5.8 muestra las fallas interpretadas en los perfiles sísmicos con dirección SO-NE la cual es perpendicular al rumbo de la estructura del área de estudio, a su vez se resalta la falla de color azul como una falla de interés en el área.

Una vez interpretada cada una de las secciones sísmicas, se procedió con la opción “Fault Heaves” a partir de “interpreter fault” de *SeisWork2D<sup>TM</sup>*, a calcular los saltos de fallas, identificando en el mapa los espacios en cada una de las líneas sísmicas, mostrando la ubicación de fallas presentes en las mismas, para luego editar polígonos de fallas, los cuales fueron almacenados en *SeisWork2D<sup>TM</sup>* como “*Mappingfiles*”. Estos polígonos se generan uniendo los espacios correspondientes a los saltos de fallas, dependiendo de las características de cada una de las fallas que se identifiquen en las líneas sísmica 2D, obteniendo así una mayor continuidad en la representación de estas fallas (Fig. 5.9).

En general, el Campo Lagunillas a nivel de la discordancia del Eoceno predomina el sistema de fallas Alto de Pueblo Viejo, originada por régimen compresivo en el Eoceno Medio a Superior con una orientación NE-SO. El área, ubicada en el alto estructural de los lineamientos de Pueblo Viejo se presentan sistemas de fallas originadas con régimen extensivos que interceptan casi perpendicular a ésta de orientaciones promedios NNO. En general se identificaron e interpretaron un total de 35 fallas en el área de estudio.

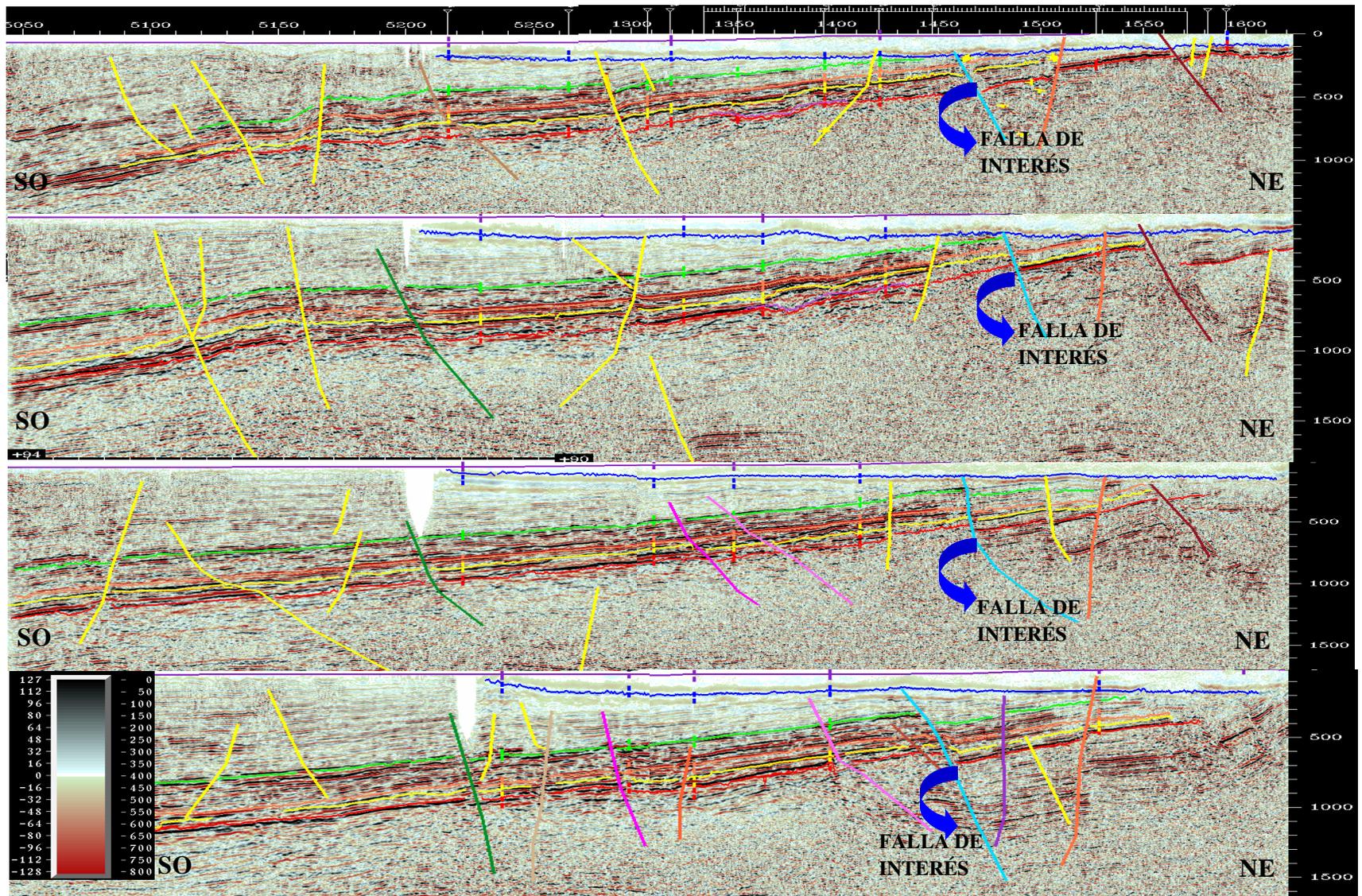
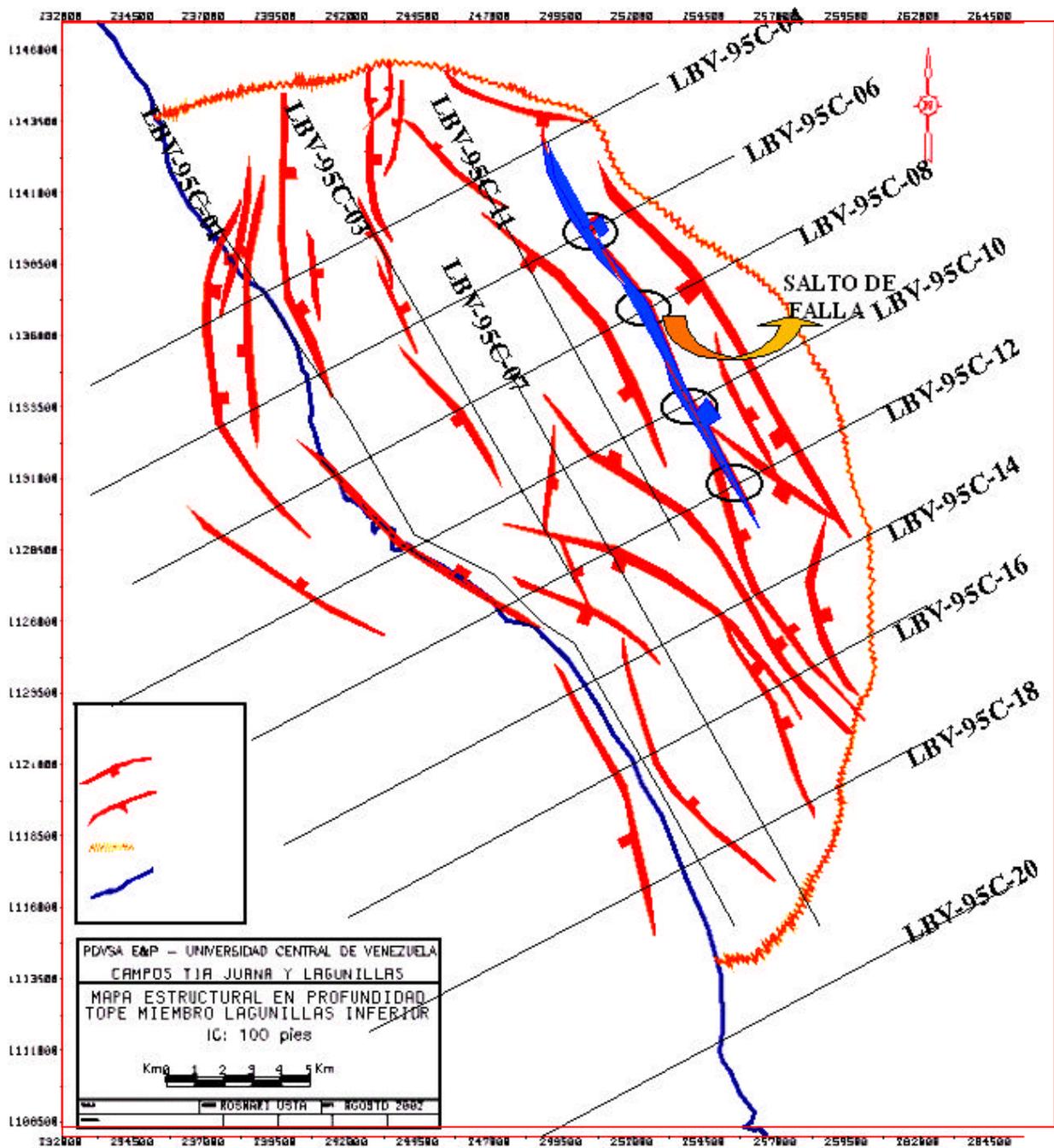
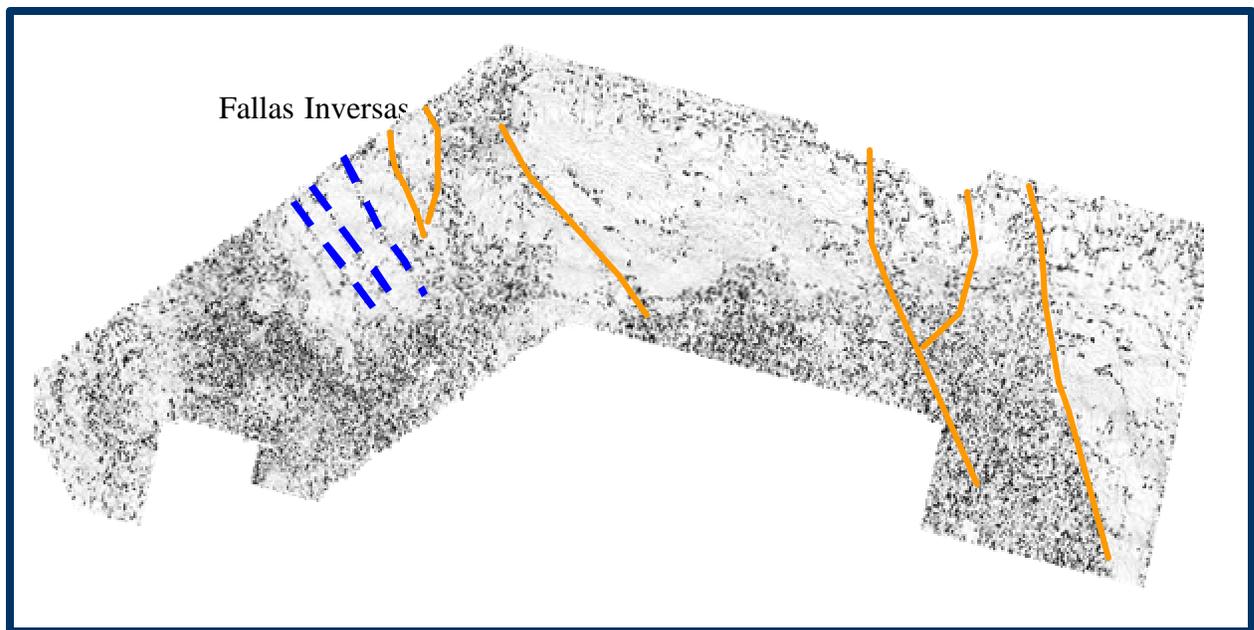


FIGURA 5.8 Sección sísmica correspondientes a las líneas LBV-95C-06; LBV-95C-08; LBV-95C-10 Y LBV-95C-12, todas con dirección SO-NE, muestra que la falla de color azul se analiza como una sola por poseer las mismas características



**FIGURA 5.9** Empalme de las fallas mostrando entre ellas continuidad, por ejemplo la falla resaltada de color azul da como ejemplo a la selección del resto de las fallas.

En la parte norte del área se interpretaron dos fallas inversas con una dirección NNE-SSO y NNO-SSE, respectivamente. Continuando con el análisis de falla se utilizó la herramienta Edge, con el fin de identificar la continuidad de fallas previamente interpretadas y nuevos lineamientos posiblemente asociados a fallas. La interpretación de la información aportada por el análisis de esta herramienta, a nivel de la discordancia del Eoceno, permitió resaltar estas pequeñas fallas inversas y a su vez, verificar la posible continuidad de las fallas interpretadas en las líneas sísmicas 2D cercanas a las áreas periféricas del Campo Tía Juana. La figura 5.10 representa un mapa de atributo sísmico “Edge Detection” en el cual se señalan los lineamientos asociados a fallas.



**FIGURA 5.10.** Mapa del atributo sísmico “Edge Detection” de la Discordancia del Eoceno para la interpretación de fallas.

En la figura 5.11 y 5.12 se muestran secciones sísmicas estructurales de dirección SW-NE y NW-SE en la que se puede observar fallas normales a nivel de la Formación Lagunillas de edad Mioceno y la falla inversa correspondiente a Pueblo Viejo. La interpretación de las fallas nos permitió crear un modelo estructural local del área de estudio, que como ya se mencionó anteriormente, la falla Pueblo Viejo se caracteriza por ser de alto buzamiento, está ubicada al SE del mapa y el resto de las fallas del área corresponden a sistemas de fallas normales.

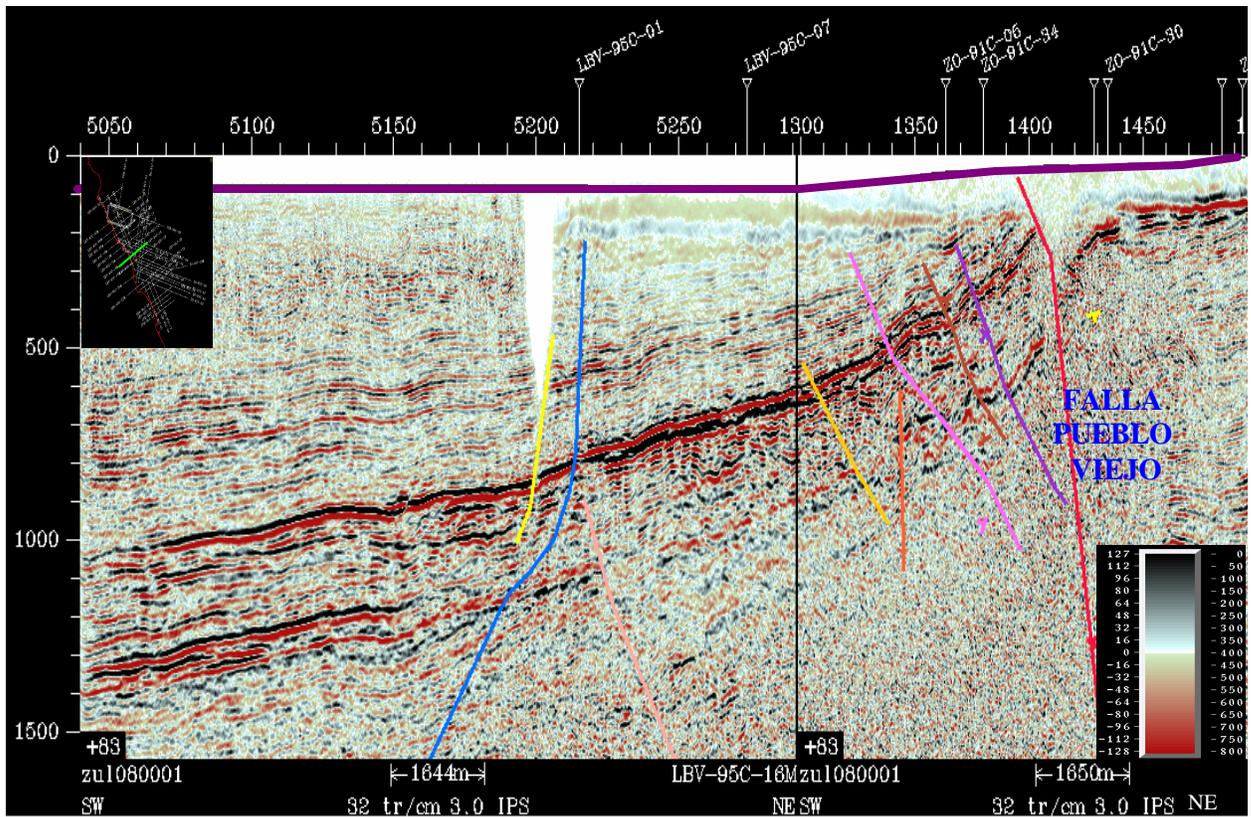


FIGURA 5.11. Línea sísmica LBV-95C-16M Y LBV-95C-16. Dirección SO-NE.  
Muestra las fallas interpretadas en el área de estudio.

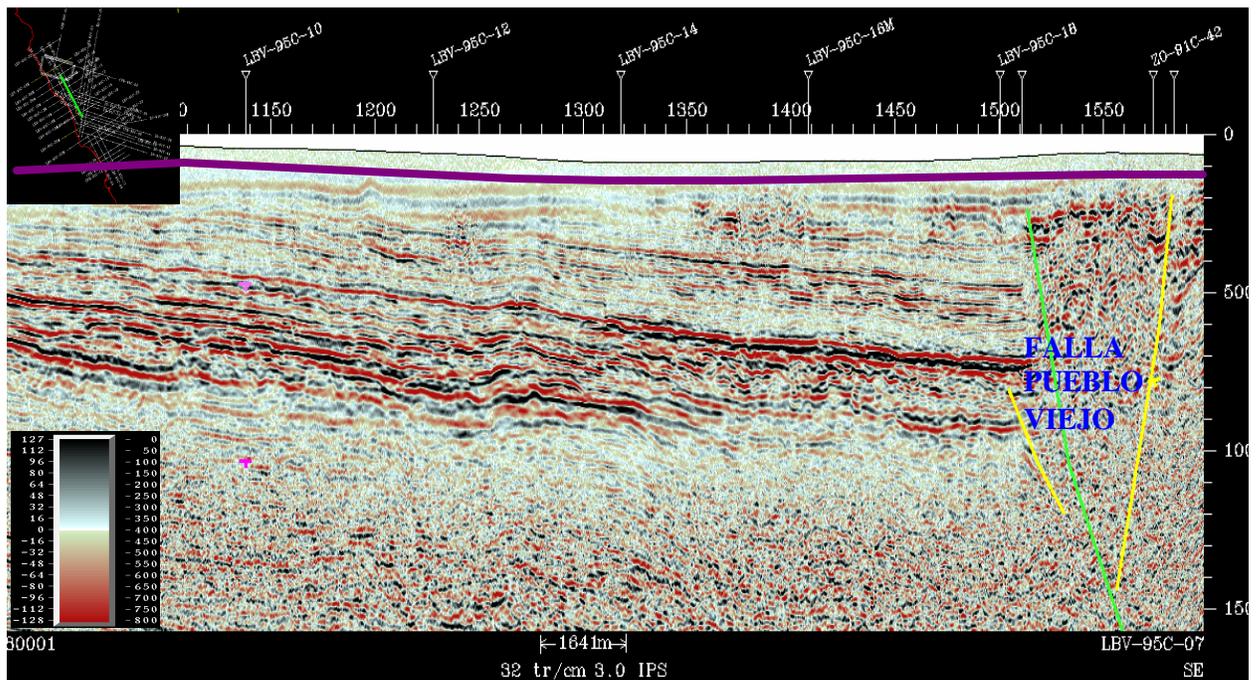


FIGURA 5.12. Línea sísmica LBV-95C-07. Dirección NO-SE. Muestra las fallas interpretadas en el área de estudio.

Este modelo tiene un buen amarre con respecto al modelo estructural regional, debido a que las fallas interpretadas guardan relación con los eventos tectónicos que afectaron a la Cuenca en diferentes periodos. (Fig.5.13).

Para la definición de este modelo estructural fueron utilizados como herramienta de soporte, todas las secciones sísmicas interpretadas y la aplicación de algunos atributos sísmicos estructurales.

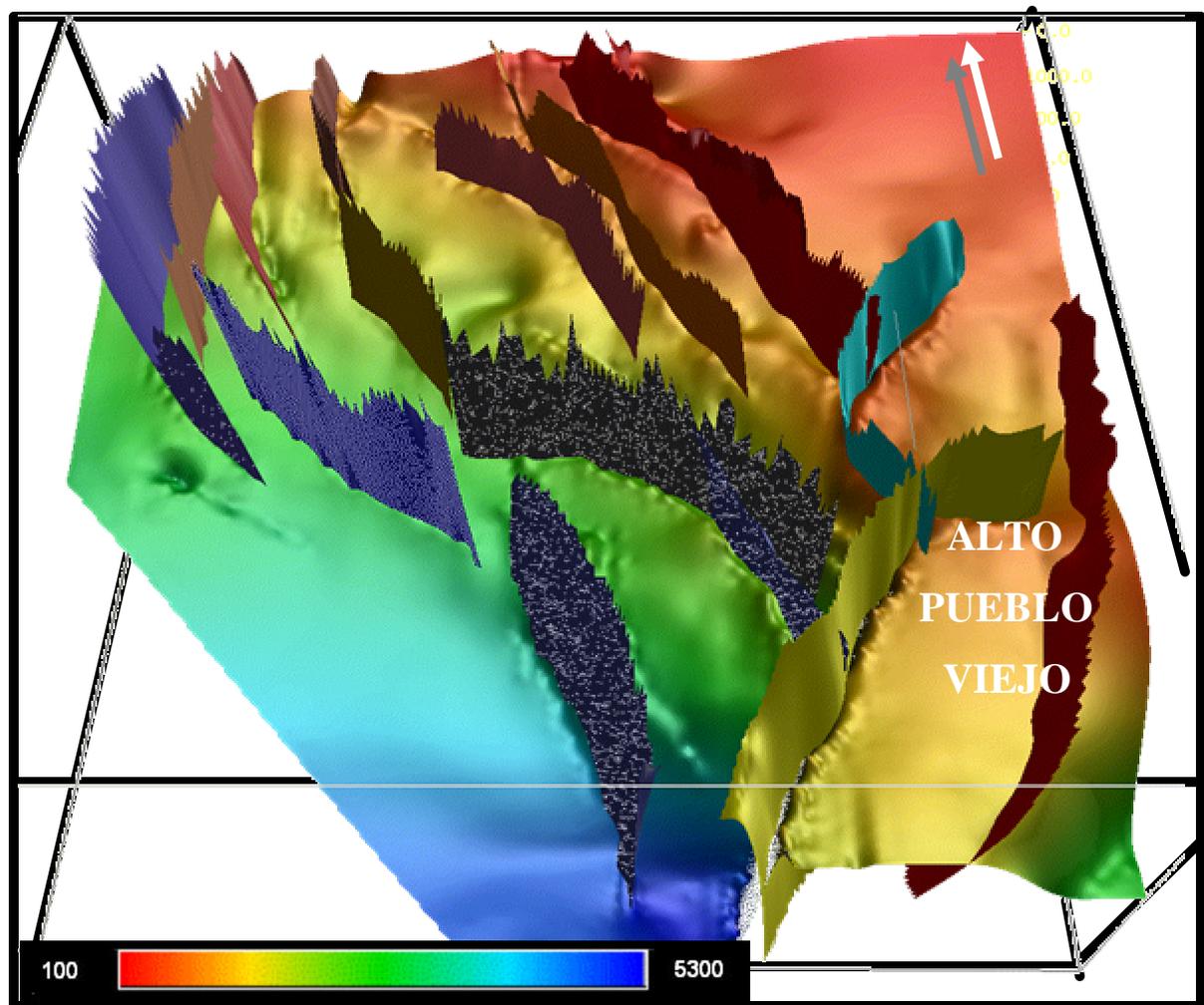


FIGURA 5.13 Visualización del modelo estructural, fallas correspondientes a la discordancia del Eoceno.

### ***5.1.3 Sección Estructural.***

La sección estructural se realiza a partir de registros de pozos, con el objetivo de mostrar el comportamiento estructural de los yacimientos del área de estudio. Una sección estructural muestra las variaciones en posición relativa de elementos en un plano vertical.

En una sección estructural con registros de pozos, deben normalizarse las profundidades medidas respecto al nivel del mar restando la altura topográfica y la mesa rotaria. Una vez normalizada cualquier nivel de profundidad cercano a las ocurrencias de las capas de interés puede ser usado como (“Datum”) referencial y colgar los pozos a la misma altura. Sólo quedaría unir los topes continuos en la sección e interpretar la ocurrencia de factores estructurales como fallas, obteniendo de la sección, la visión de la estructura geológica del horizonte de interés.

En la a figura 5.14 se muestra una sección estructural de dirección SE-NO, aquí se resalta la variación de profundidades de las capas correspondientes a la Formación Lagunillas de Edad Mioceno y la discordancia del Eoceno. Nótese, que las capas más profundas se tienen al SE y a medida que avanza va disminuyendo el espesor de las capas hacia el NE.

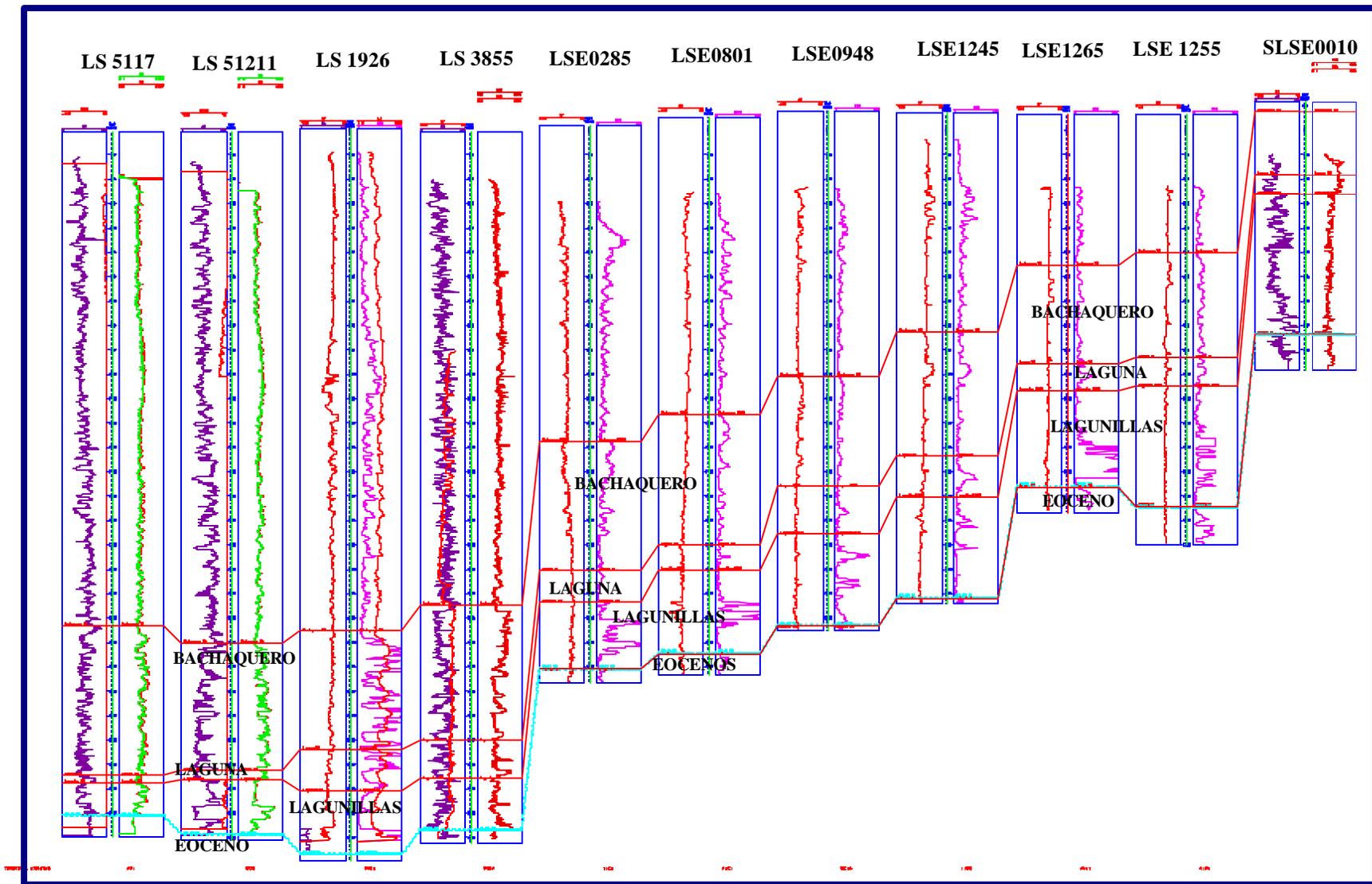


FIGURA 5.14 Sección Estructural en dirección SE-NW, obteniendo la visión de la estructura geológica de los horizontes interpretados.

#### ***5.1.4 Mapas Estructurales en Tiempo***

Luego de realizada la interpretación de las secciones sísmicas y la elaboración de los mapas de patrones de fallamiento en su totalidad, se procedió a la carga de los datos obtenidos de los horizontes interpretados y los polígonos de fallas generados, para luego generar los mapas en tiempo.

Estos mapas en tiempo se generaron y editaron a partir de la aplicación Zmap-Plus, para ésto, se exportaron desde la opción “*Export*” aplicación de “*Map-View*” de *SeisWork2D/3D<sup>TM</sup>* los archivos de los horizontes sísmicos interpretados y los archivos de los patrones de fallamientos. Para ellos se le asignó como intervalos de contornos líneas cada 50 mseg.

Los archivos de los horizontes y fallas se exportaron como “.*DAT*”, coordenadas X, Y y valores Z (tiempo) y los archivos de los patrones de fallas quedan almacenados en el “*Master Files*” como un archivo tipo “*Fault*” ordenados con coordenadas X, Y y Seg ID. A partir de los archivos creados para topes sísmicos Bachaquero, Laguna, Lagunillas Inferior y la discordancia del Eoceno, se prosigue a generar los mapas en tiempo directamente de las aplicaciones de Zmap-Plus, el cual será revisado y editado posteriormente.

La visualización de los mapas estructurales de tiempo en dos dimensiones permitió destacar las estructuras interpretadas de gran importancia. En las figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 se muestran los mapas en tiempos correspondientes a la discordancia del Eoceno, tope Miembro Lagunillas Inferior, Miembro Laguna y Miembro Bachaquero respectivamente. En el caso de la discordancia del Eoceno se puede observar el alto estructural de Pueblo Viejo, buzamiento suave hacia el sur-oeste y a su vez se encuentra enmarcado en un intervalo de tiempo doble que va desde 200mseg hasta 1500mseg. El tope del Miembro Lagunillas Inferior se encuentra enmarcado en un intervalo de tiempo doble que va desde 250mseg hasta 1300mseg, para este caso no se observa el alto estructural sino que se acuña hacia el nor-este del área. El tope del Miembro Laguna entre 200mseg hasta 1200mseg y el tope del Miembro Bachaquero va desde los 150mseg hasta 1000 mseg. Al igual que el anterior se puede observa la no presencia del alto y el acuñaamiento hacia el nor-este del área.

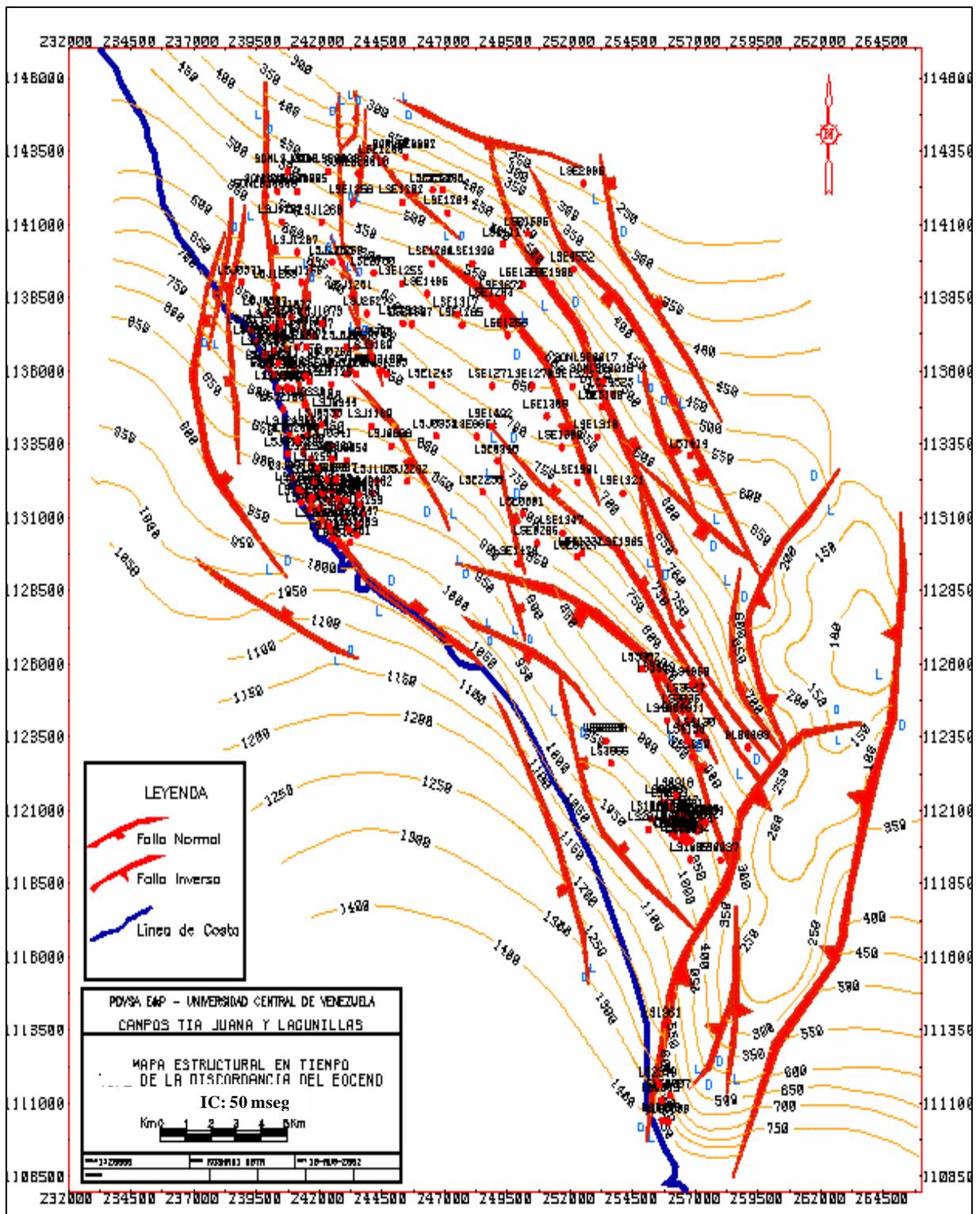


FIGURA 5.15 Mapa en tiempo para la discordancia del Eoceno, elaborado en ZmapPlus

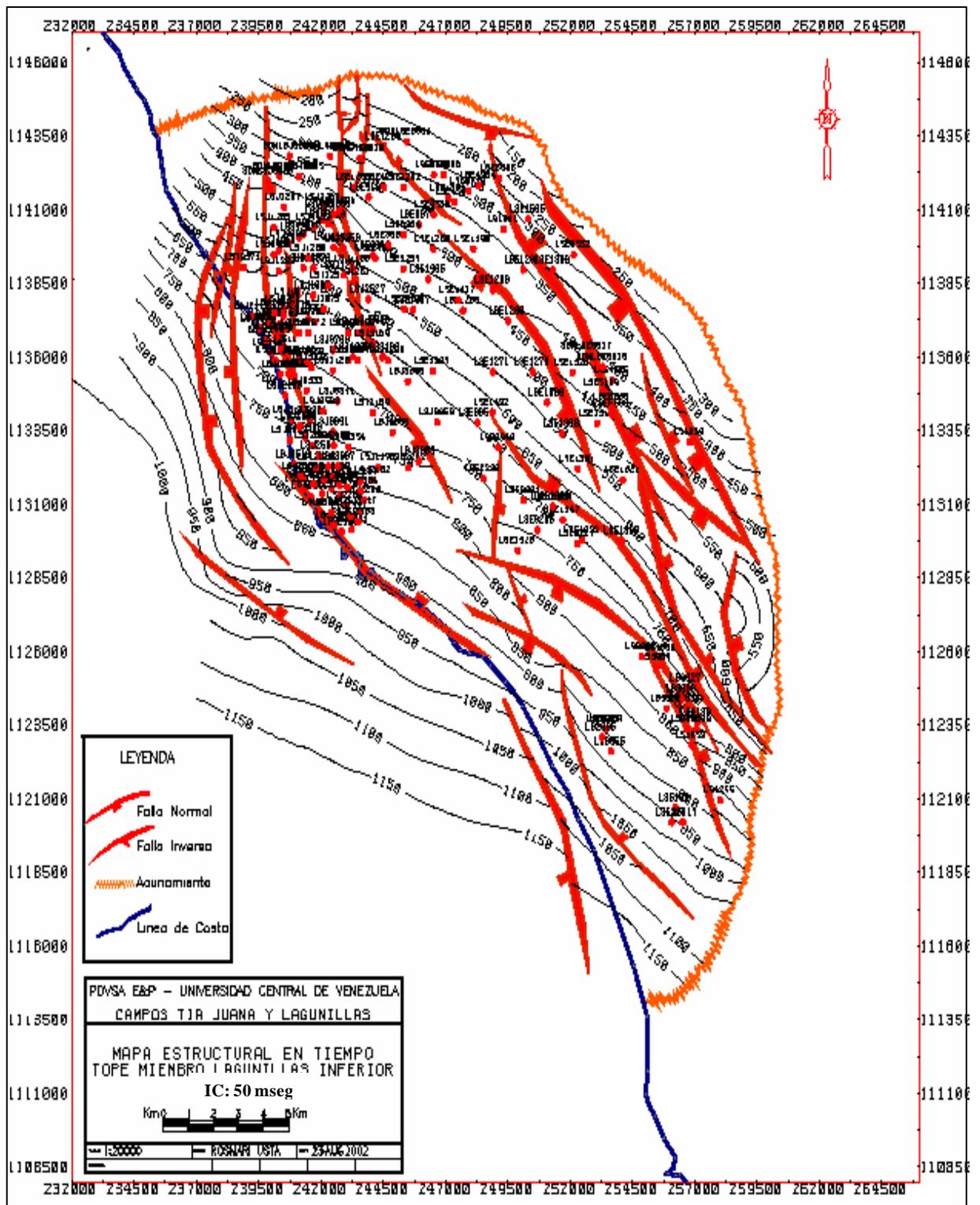


FIGURA 5.16 Mapa en tiempo para el tope del miembro Lagunillas Inferior, elaborado en ZmapPlus.

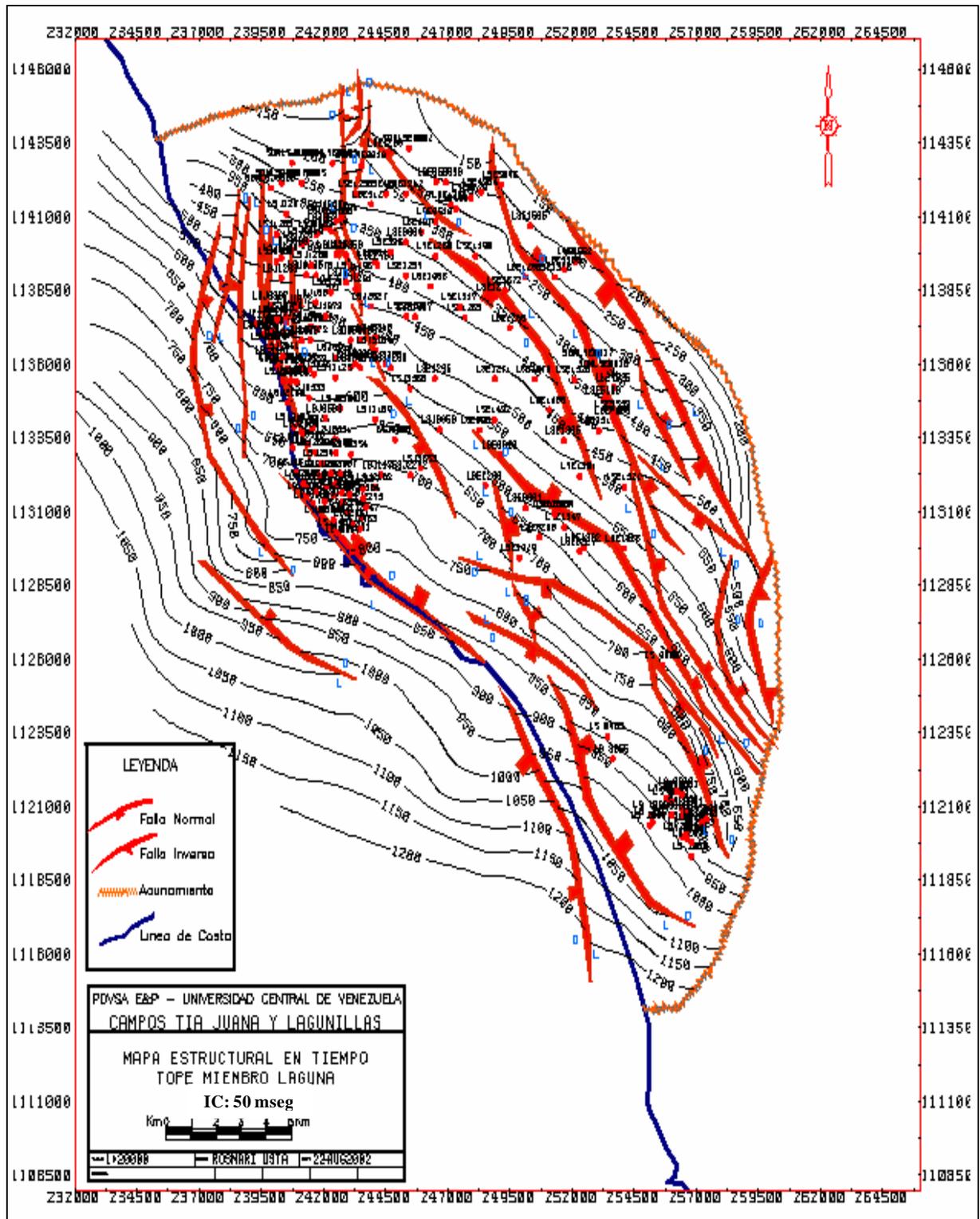


FIGURA 5.17 Mapa en tiempo para el tope del Miembro Laguna, elaborado en ZmapPlus.

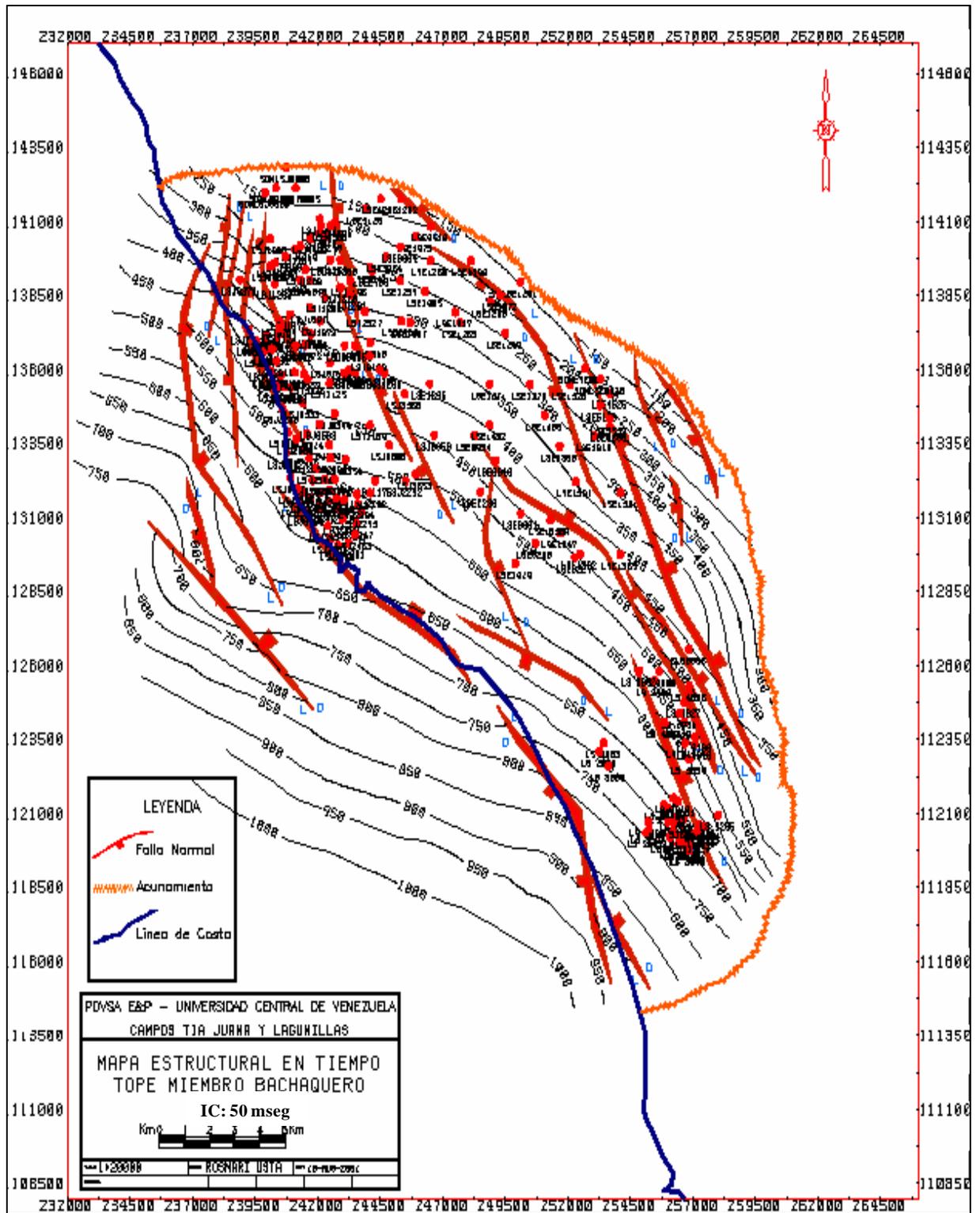


FIGURA 5.18 Mapa en tiempo para el tope del Miembro Bachaquero, elaborado en ZmapPlus.

### ***5.1.5 Secciones horizontalizadas (“Flattening”).***

Las superficies horizontalizadas es una herramienta de gran utilidad en la interpretación sísmica estructural para la reconstrucción de la historia geológica del área de interés, permitiendo un análisis propio en la evolución estructural y la aparición de fallas presentes en la zona. También permite destacar la disposición de los estratos inferiores antes de la depositación de los estratos (más jóvenes).

Para corroborar el modelo sedimentario previo a la deformación estructural y su amarre con los eventos tectónicos, se horizontalizaron al tope de la Formación Bachaquero y al tope de la Formación Lagunas Inferior.

La figura 5.19 muestra la sección LBV-95C-06M y 06 interpretadas, destacándose el comportamiento de los horizontes interpretados y los espesores entre ellos. A consecuencia de éste levantamiento la Formación Lagunillas se acuña hacia el este del campo.

Con el horizonte aplanado del tope de Lagunillas Inferior de la misma sección, mostrada en la figura 5.20, se destaca un aumento del espesor de esta sección hacia el este.

En la figura 5.21 se muestra la sección sísmica LBV-95C-11 interpretada y en la figura 5.22 se muestra la misma sección con el tope del Miembro Bachaquero, en color verde, horizontalizada. En esta figura se puede notar el aumento de espesor, hacia el sureste, del Miembro Bachaquero, manteniéndose Laguna, Lagunillas Inferior isópacos a través de toda la sección. También se puede notar la morfología en la discordancia del Eoceno, en color rojo, en la cual se aprecia la geometría de probables valles incisos.

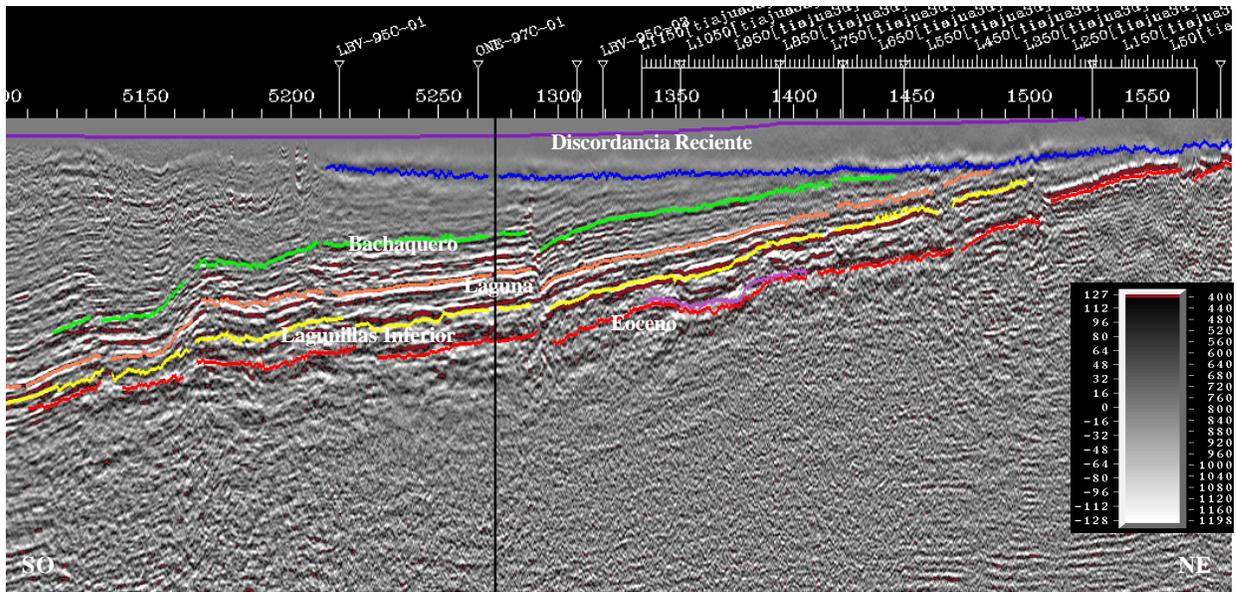


FIGURA 5.19. Línea sísmica LBV-95C-06M y 06 de dirección SO-NE interpretada.

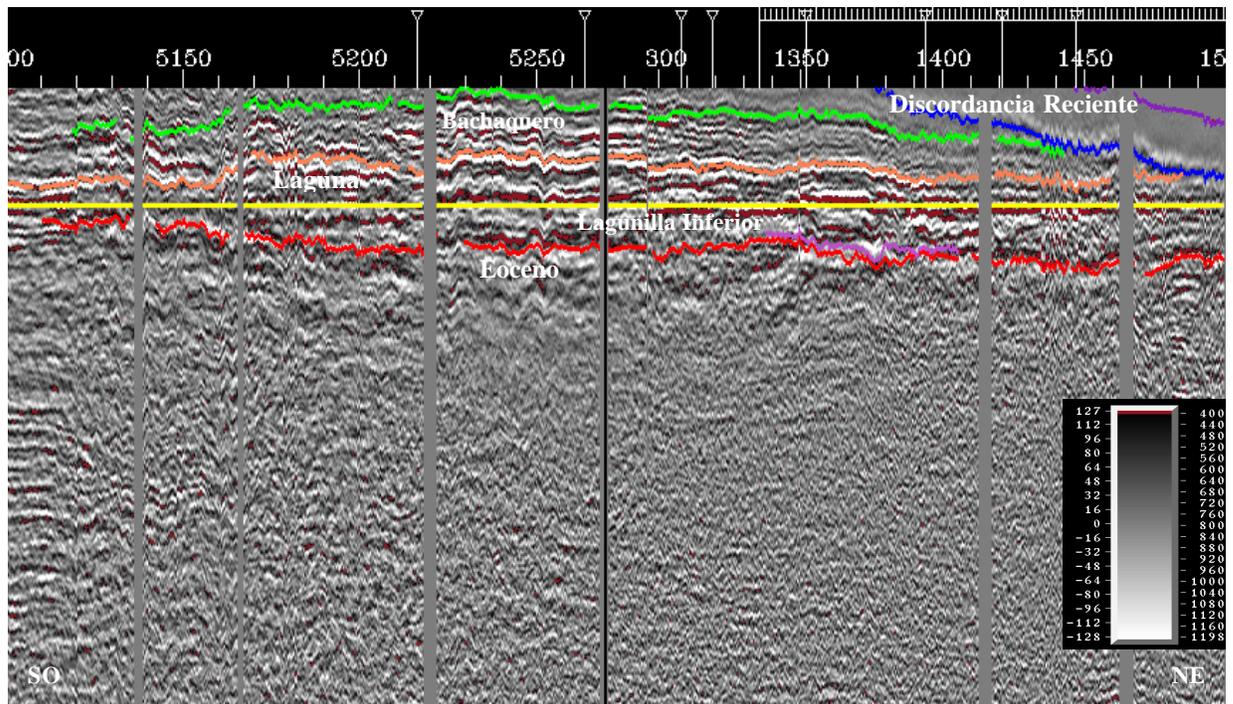


FIGURA 5.20. Línea sísmica LBV-95C-06M y 06 con el tope del Miembro Lagunillas Inferior horizontalizada.

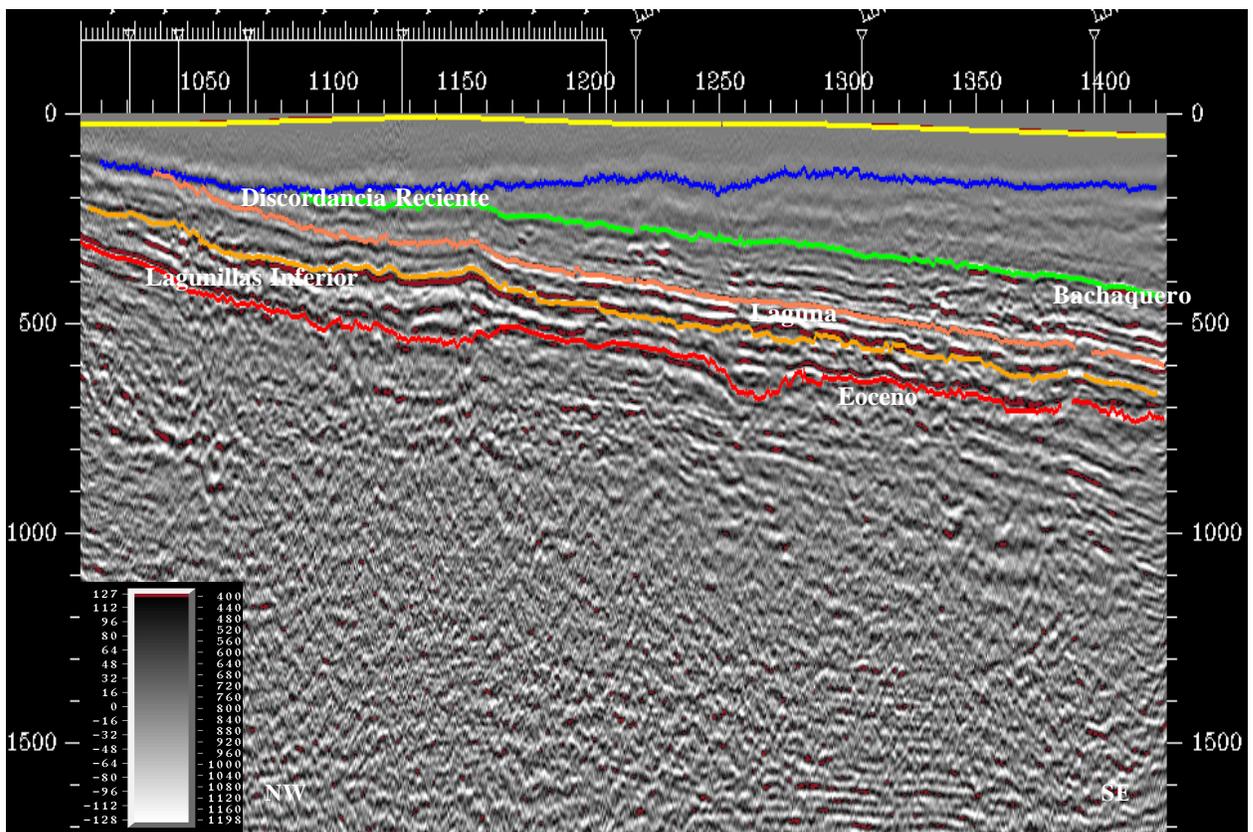


FIGURA 5.21. Línea sísmica LBV-95C-11 de dirección NW-SE interpretada.

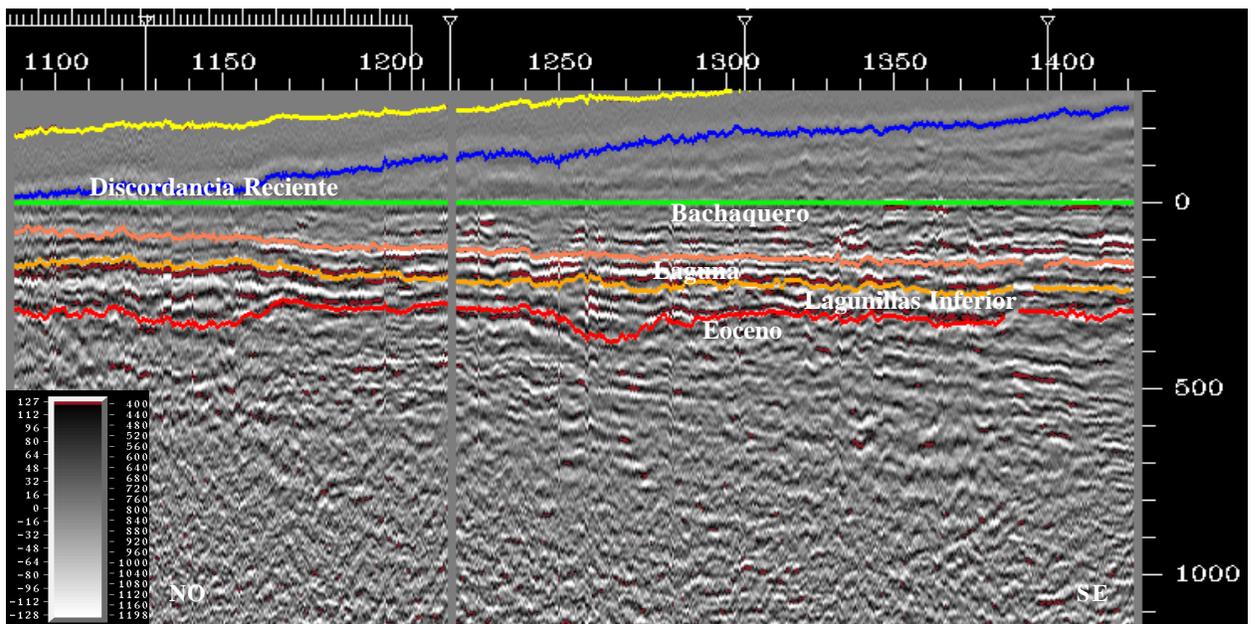


FIGURA 5.22 Línea sísmica LBV-95C-11 de dirección NO-SE interpretada. Miembro Bachaquero horizontalizada

### ***5.1.6 Atributos Sísmicos***

El concepto de correlación basado en el carácter sísmico ha sido utilizado por geofísicos desde los inicios de la exploración mediante la sísmica de reflexión, muchos interpretes se han dado cuenta de que ciertas secuencias reflexivas o eventos sedimentarios se caracterizan por una forma de onda específica utilizando esto para correlacionar a través y verificar que las reflexiones han sido escogida correctamente (Quincy, Sydney,1997).

El análisis de atributos post-apilamiento en datos sísmicos es una herramienta que permite reducir el grado de incertidumbre del explotador petrolero (Tarner, Sheriff,1977). Durante los últimos años se han incrementado el uso de técnicas de interpretación que han servido para delinear de mejor formas de interés exploratorio en la industria petrolera. Entre estas técnicas se pueden mencionar la integración de estudios geofísicos, a través de distintos análisis con datos sísmicos y petrofísicos, con las disciplinas geológicas, como la son la estratigrafía y geología estructural, en lo que se conoce como grupo integrado de trabajo. Los atributos sísmicos son el resultado de la aplicación de diversas operaciones matemáticas a las trazas sísmicas. Este análisis permite determinar situaciones y orígenes que generan respuestas que se resalta como una anomalía, luego esta es amarrada con la información de pozo, para luego extrapolar toda la información en el área de interés.

Es importante resaltar, que los atributos sísmicos pueden ser generados para un volumen completo en 3D o bien para un evento en particular interpretado, puede ser extraído a lo largo de una ventana en tiempo o profundidad o para una sección o parte de ella. La ventaja de esta tecnología es que extrae información de los datos sísmicos que de otra forma estaría escondida. La problemática de este método proviene de establecer cual atributo es bueno para predecir cierta propiedad, ya que hoy en día existen gran cantidad de atributos disponibles, implicando que la incertidumbre aumente para la selección del tipo de atributos. La forma de saber cuan bueno es el atributo sísmico para una situación determinada es a través de un mayor entendimiento de las propiedades físicas de las rocas

del subsuelo y de sus posibles respuestas en forma de anomalías de los distintos atributos sísmicos. Un factor que debe ser tomado en cuenta cuando se está analizando la aplicación de los atributos sísmicos, es el procesamiento a la cual los datos originales fueron sometidos, ya que, el procesamiento juega un papel importante, por lo que éste, puede acentuar o destruir anomalías de atributos, creando respuestas falsas que el intérprete pudiese asociar a resultados ficticios dentro de los datos originales (Sheriff,1977).

En este capítulo, se presenta la aplicación de atributos sísmicos en algunas líneas sísmicas a partir de los reflectores sísmicos interpretados, obtenidos en datos sísmicos 2D de los campos Tía Juana y Lagunillas, estos atributos son calculados a partir de la configuración y continuidad de la reflexión, definidos como atributos sísmicos estructurales, ayudando a seguir eventos débiles, delinear fallas, caracterizar yacimientos y predecir propiedades y anomalías estructurales que no son fáciles de observar o no son bien definidas en la interpretación. Para este caso, el análisis que se realizó en la sísmica 2D fueron atributos derivados directamente de la traza sísmica compleja; calculando y desplegando rápidamente la amplitud de cuadratura, fuerza de la reflexión, la fase instantánea y frecuencia instantánea, en el caso del 3D se le aplicó el atributo estructural creado a partir del grid (segunda derivada edge) todo esto, para obtener una visión más amplia en la interpretación.

### ***5.1.6.1 Ondas Sísmicas como Señales Analíticas***

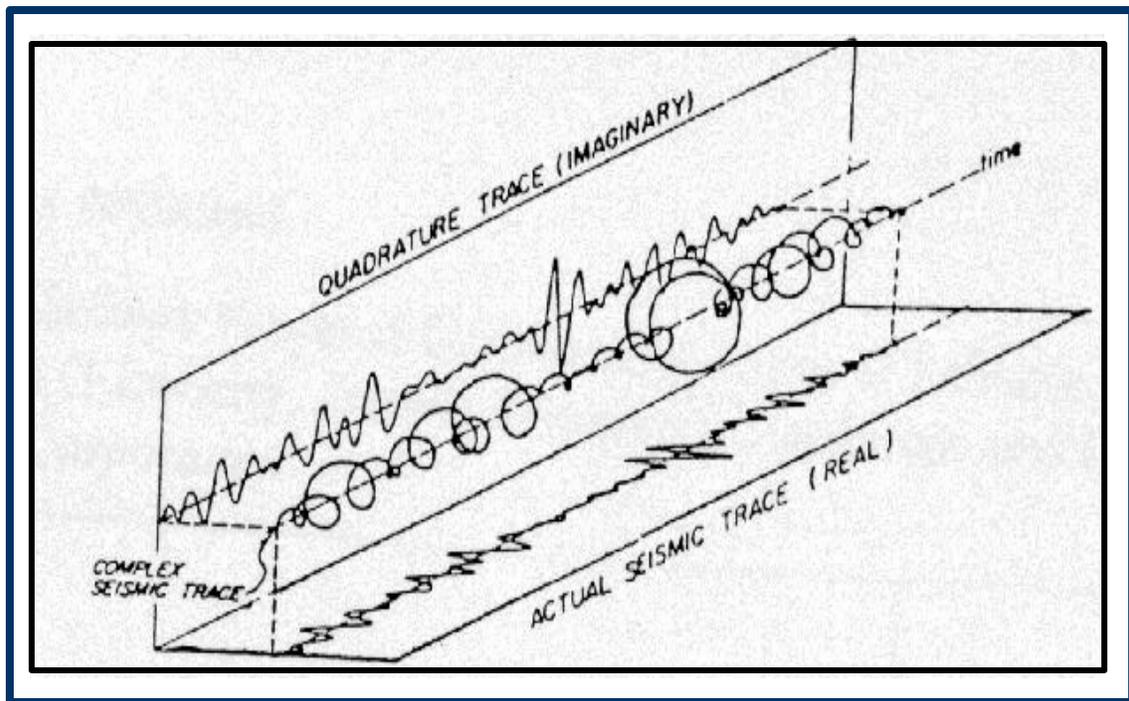
#### ***5.1.6.1.1 Concepto de la traza compleja***

(Tarner, et al 1979) explica el análisis complejo que separa amplitud e información de la fase, éstos pueden ser calculados sobre una superficie o volumen, representando variaciones de amplitud que generan anomalías que identifiquen posibles zonas que representen cuerpos geológicos de interés.

La traza compleja, como explicado por Tarner, (1979), consiste en un componente real es la representada y detectada de la traza sísmica convencional, mientras que la componente imaginaria representa la cuadratura de la amplitud que es la transformada de Hilbert calculada de la parte real (Fig. 5.23).

$$F(t) = f(t) + ih(t)$$

**Donde:**  $f(t)$  es la traza de la sísmica real  
 $h(t)$  es la cuadratura de la amplitud



**FIGURA 5.23** Representación de la traza sísmica compleja, se observan su parte real e imaginaria (tomado de Briceño et al., 1999).

### 5.1.6.2 Derivación de los Atributos de la traza sísmica compleja

Una traza sísmica compleja puede ser descrita como un factor dependiente del tiempo, bajo este concepto se puede expresar a la traza sísmica observada o real como:

$$f(t) = A(t) \cos q(t)$$

**Donde:**  $A(t)$  es la envolvente de la traza sísmica (curva de baja frecuencia obtenidas a través de suavizar picos adyacentes de amplitud )  
 $q(t)$  es la fase.

Para dibujar las partes real e imaginaria de la traza sísmica, se debe considerar que la traza  $f(t)$  es generada por un vector que rota en función del tiempo, y que además varía en longitud a lo largo del tiempo.

La traza sísmica observada es la proyección de este vector sobre el plano real. Su proyección sobre la parte imaginaria genera la traza cuadratura,  $h(t)$  y se define como:

$$h(t) = A(t) \operatorname{sen} q(t)$$

La traza compleja  $F(t)$  representada anteriormente como:

$$F(t) = f(t) + ih(t) = A(t) e^{iq(t)}$$

Si  $f(t)$  y  $h(t)$  son conocidas (recordando que  $h(t)$  puede derivarse de  $f(t)$  usando la transformada de Hilbert), se puede resolver  $A(t)$  y  $\theta(t)$  como:

$$A(t) = \sqrt{f^2(t) + h^2(t)} = \frac{1}{2} F(t) \frac{1}{2}$$
$$q(t) = \tan^{-1} [ h(t) / f(t) ]$$

$A(t)$  es la llamada Intensidad de la Reflexión, y  $q(t)$  es la llamada fase instantánea, después de Bracewell (1965).

Tomando la derivada de la fase instantánea se obtiene la frecuencia instantánea

$$w(t) = \frac{dq(t)}{d(t)}$$

#### ***5.1.6.2.1 Traza Cuadratura***

La traza cuadratura es idénticamente igual a la traza real a diferencia que tiene un rotación de 90° en su fase. El movimiento de la partícula es recobrado a través de una fuerza restauradora, por lo que dicha energía es preservada en forma de energía potencial, es decir, a medida que una partícula se mueve como respuesta al paso de una onda sísmica, la energía es convertida de cinética a potencial. La traza cuadratura se podría representar como la energía potencial. Básicamente la traza cuadratura es usada para el cálculo de otros atributos, este atributo es también conocida como la transformada de Hilbert de la traza real.

En la figura 5.24 y 5.25 se muestra la diferencia de la traza sísmica original con la aplicación de este atributo, en este ejemplo se puede resaltar, que los horizontes de interés que aparece en el tiempo de la traza real es el mismo que en la traza cuadratura. El valor de la amplitud, está fuera de fase 90° con respecto al valor mínimo en la traza real. La escala de color que se utilizó en el despliegue del atributo es el denominado **segpolar**, el rango de la escala va desde azul a blanco de cero hasta la amplitud -128 y de cero hasta 127 torna hacia el rosado.

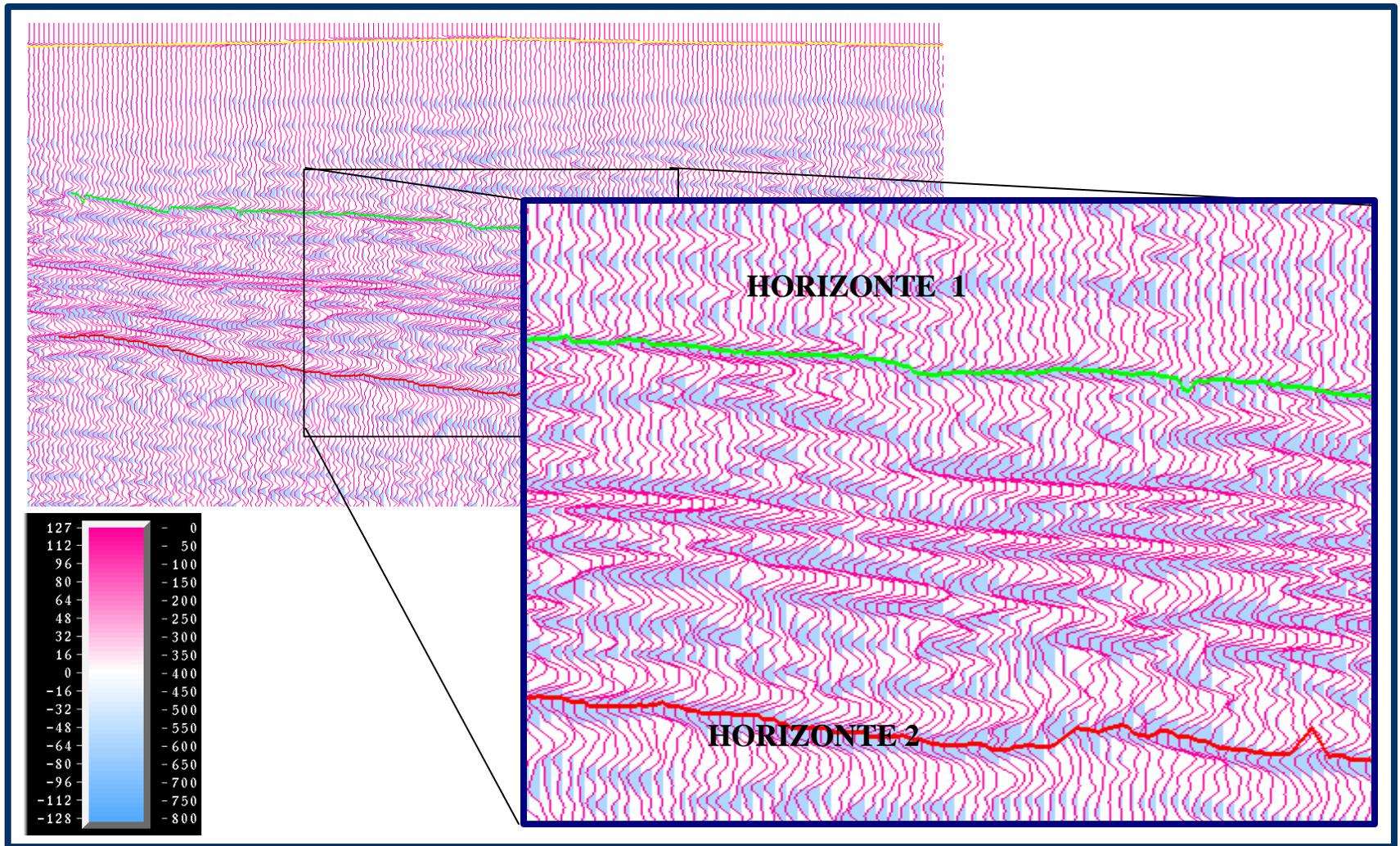
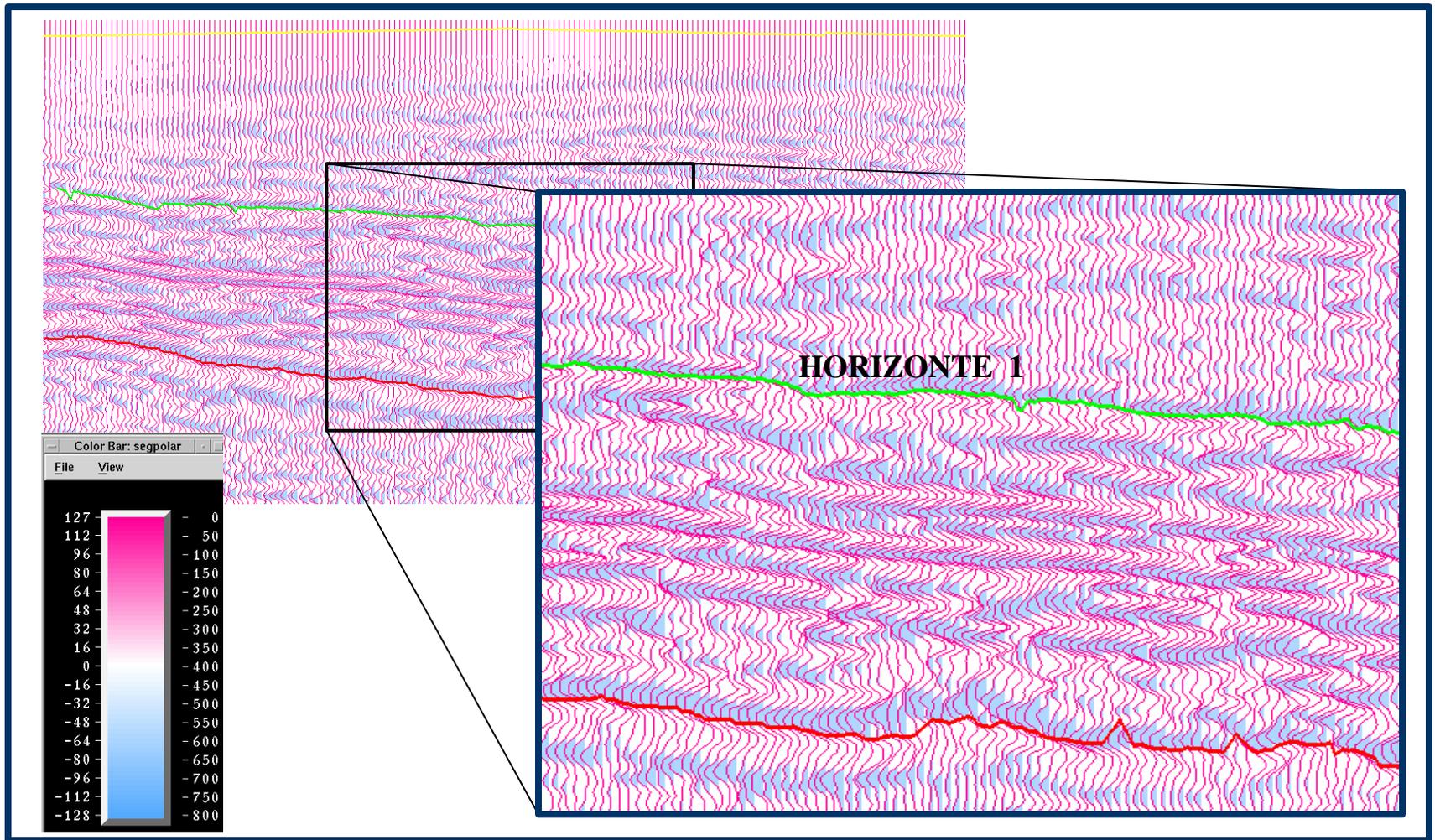


FIGURA 5.24 Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que los reflectores en azul corresponden a amplitudes negativas



**FIGURA 5.25.** Ejemplo de la traza sísmica imaginaria (traza cuadratura), línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que los reflectores en azul corresponden a amplitudes negativas. Se observa que el valor de amplitud con respecto al anterior esta a  $90^\circ$  fuera de fase.

#### 5.1.6.2.2 *Intensidad de Reflexión (Reflection Strenght)*

Esta se define como el total de la envolvente de la energía A (t) para cada instante a través de la traza sísmica. La intensidad de reflexión es siempre positiva. Si se considera las dos componentes de la traza sísmica, real e imaginaria, el máximo de la reflexión instantánea puede o no coincidir con la máxima reflexión de la traza grabada. Lo que indica, que la respuesta de este atributo pudiera ser indicativa de otras interferencias, como pudiera ser fluidos saturantes o cambios litológicos, entre otros (Sheriff et al.,1977).

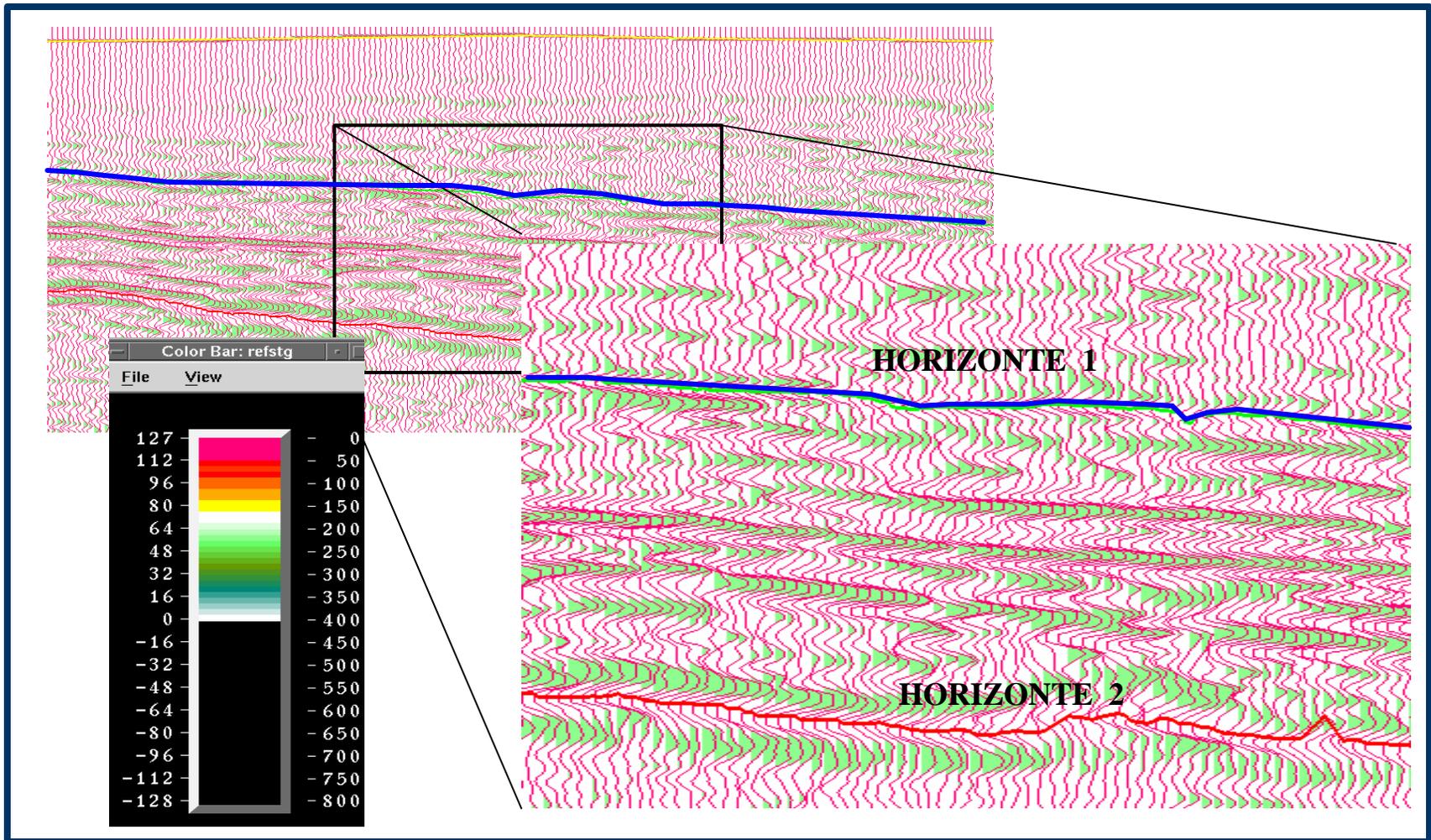
Para cada muestra de tiempo, la intensidad de reflexión es calculada de la siguiente manera:

$$\text{Intensidad de reflexión} = \sqrt{(\text{traza real})^2 + (\text{traza cuadratura})^2}$$

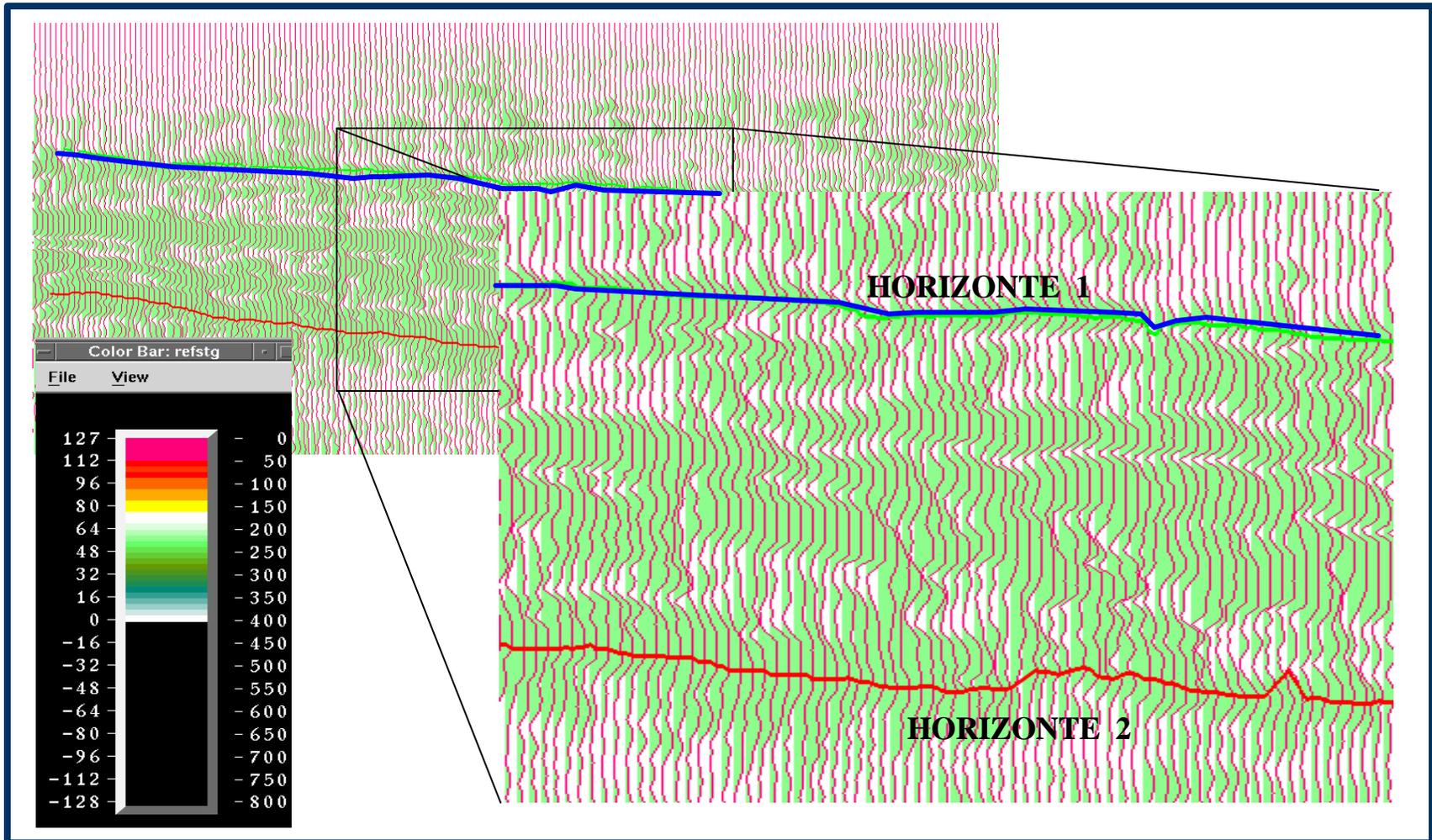
La aplicación mas directa de este atributo lo es el reconocimiento de puntos brillantes y reflexiones planas, así como para detectar variaciones laterales de facies y cambios estratigráficos. Es importante recalcar que este atributo pierde resolución vertical con respecto a la sección convencional de la traza real, por ser el valor absoluto de la traza compleja.

La versión normalizada de este atributo (Response Strenght) permite analizar la resistividad de los valores obtenidos para ciertos datos en particular, generando la escala normalizada al máximo o mínimo valor de amplitud instantánea que se registre en los datos y cambiándola por un promedio areal de los resultados obtenidos para el atributo instantáneo. La aplicación de este atributo varía según el área, calidad y cantidad de la información que se tenga disponible, sin dejar de indagar a cerca de su origen ninguna anomalía de amplitud instantánea. En la figura 5.26 y 5.27 se observa la traza sísmica original y la aplicación de este atributo

La escala de color que se utilizó en el despliegue del atributo es el denominado **reflstg**, el rango de la escala va desde blanco a morada hasta la amplitud 127, todos son valores positivos.



**FIGURA 5.26** Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que los reflectores que están rellenos corresponden a amplitudes positivas y los que no a amplitudes negativas.



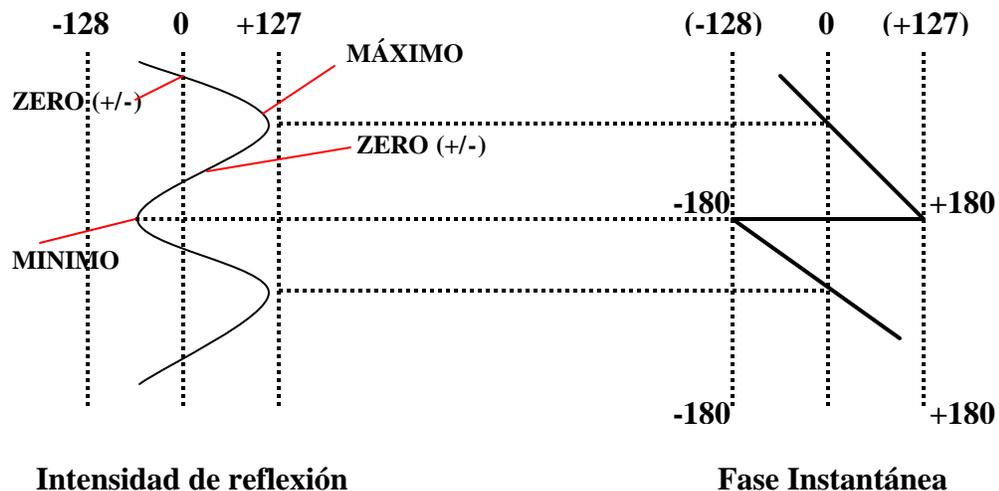
**FIGURA 5.27** Ejemplo de la traza sísmica aplicado el atributo intensidad de reflexión, línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que las amplitudes negativas en la traza original se convierte a amplitudes positiva.

### 5.1.6.2.3 Fase Instantánea

Esta se define como el ángulo de fase en cualquier instante de la traza compleja, es dependiente del tiempo e independiente a la intensidad de reflexión. Se utiliza para mostrar continuidad a lo largo de los reflectores débiles así como para la identificación de fallas o patrones depositacionales: acuñamientos, discordancias angulares, zonas de engrosamiento y afinamiento, onlap, toplap, difracciones e interferencia de eventos con diferentes buzamientos. En este atributo se tiene que la escala numérica va de  $-180$  a  $+180$ , en comparación a la escala de la traza real que tenemos valores de amplitud entre  $-128$  a  $+127$ . La desventaja de este atributo es que al acentuar eventos débiles también acentúa el ruido. Existe la versión promedio o normalizada de este atributo (“Response Phase”), depende de la intensidad de reflexión, ayudando al analista que tenga una visión suavizada del atributo de la fase instantánea que exhibe características de amplitudes sísmicas.

En la figura 5.28 y 5.29 se observa la diferencia de la traza sísmica original con la traza sísmica aplicando el atributo. Se puede notar que los valores de la fase instantánea son consistente a  $-180^\circ$  de fase, mientras que en la traza de la sísmica original se tiene amplitudes negativas alcanzando valores mínimos hasta  $-127$ . La razón clara de esto es que la ecuación de la fase es definida como:

$$q(t) = \tan^{-1} [ h(t) / f(t) ]$$



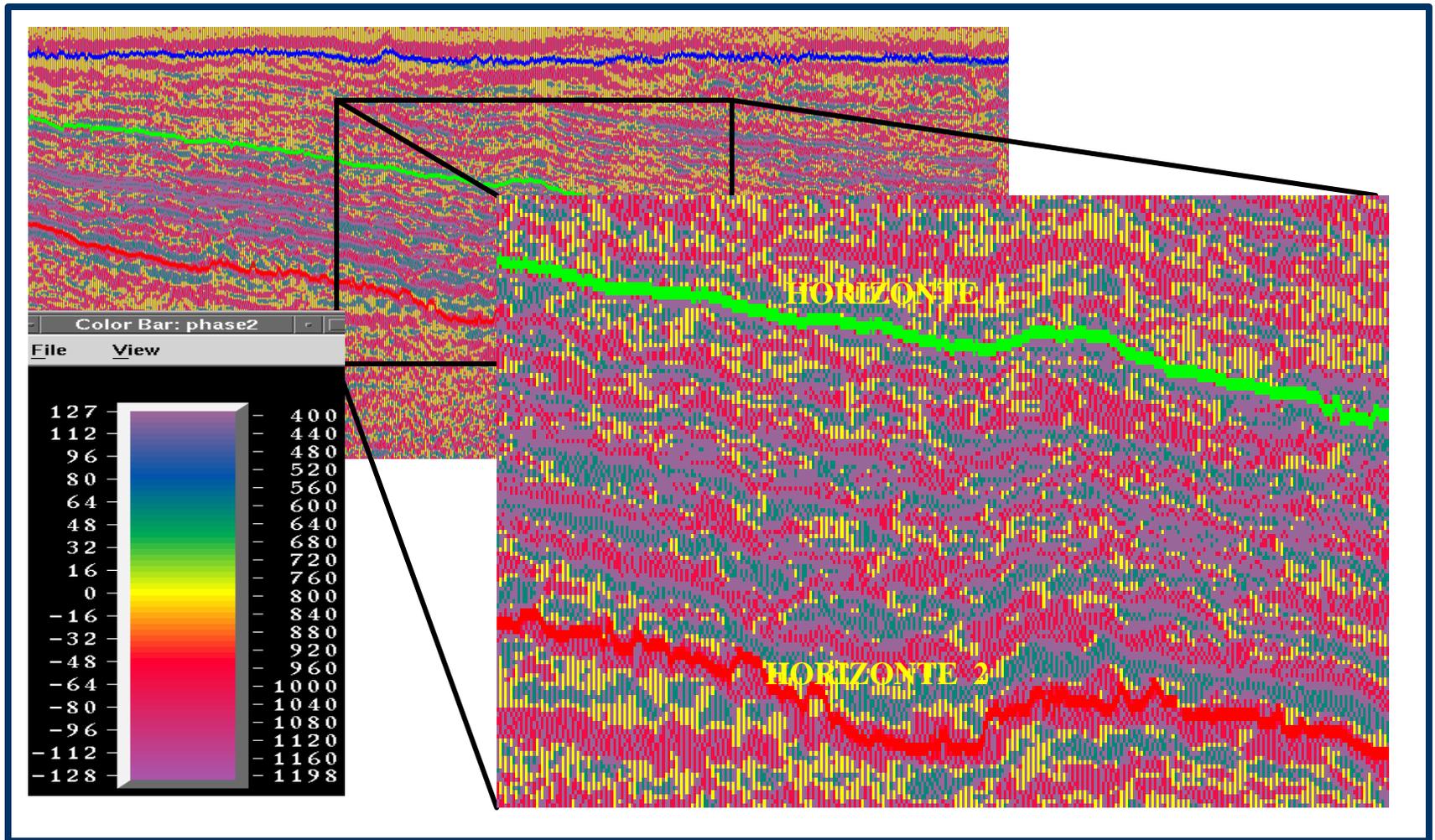


FIGURA 5.28 Ejemplo de la traza sísmica original (traza real), tomado de la línea sísmica LBV-95C-07, donde los horizontes son picados en amplitudes negativas, los cuales se encuentran en el rango de -128 a 127.

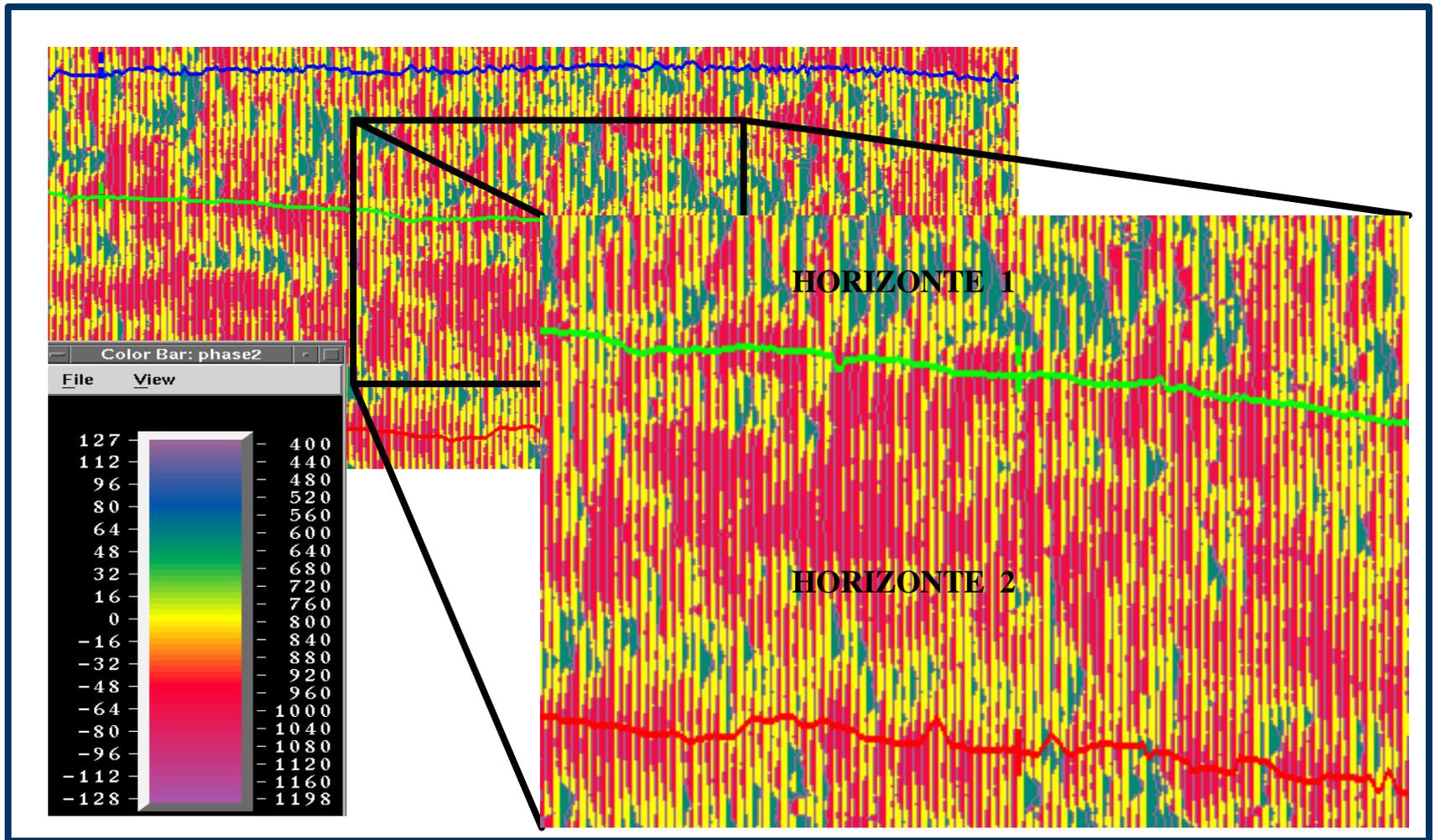


FIGURA 5.29 Ejemplo de la traza sísmica aplicando el atributo fase instantánea, línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que para este atributo muestra  $-180^\circ$  de fase. Nótese que los horizontes están picados en el cruce de cero entre el máximo y el mínimo.

#### ***5.1.6.2.4 Frecuencia Instantánea***

Representa la tasa de cambio de fase instantánea como una función del tiempo. Las variaciones de la frecuencia instantánea pueden ser abruptas y rápidas, este atributo representa una ayuda para identificar cambios repentinos en el carácter y comportamiento de un yacimiento. El valor interpretativo de este atributo es que las frecuencias altas se ven atenuadas en la presencia de yacimientos de gas y condensado. El resultado es que directamente por debajo de este tipo de yacimiento, puede ser que se encuentren una anomalía de baja frecuencia.

Este atributo es ampliamente utilizado para estimar la atenuación sísmica. Sirve para estimar la ciclicidad de eventos geológicos y es usada para resaltar eventos débiles, cuando los yacimientos de hidrocarburos causan una caída de las componentes de alta frecuencia.

La desventaja es que no ayuda a interpretar y que al igual que el de fase tiende a ser muy inestable en presencia de ruido. Al igual que los atributos anteriores, existe la versión de este atributo llamada (Response Frequency). Este atributo no representa la frecuencia instantánea para un tiempo dado de una traza sísmica sino un promedio de toda la traza hasta el punto en donde se está calculando el atributo, el resultado es una versión muy suavizada del atributo de frecuencia instantánea. Dada que la frecuencia instantánea es el decaimiento de la fase instantánea, valores negativos son posibles y válidos. La frecuencia instantánea nunca tendrá un valor mayor que la frecuencia de Nyquist o lo que es igual a la mitad de la tasa de muestreo, este atributo puede ser escala para el despliegue de una mejor resolución.

En la figura 5.30 y 5.31 se muestra la traza de la sísmica original y la aplicación del atributo, utilizando como escala de color *insfreq*, mostrando un rango de color gradacionales desde el rojo para valores de frecuencia baja hasta azul y violeta para los valores de frecuencias mas altos

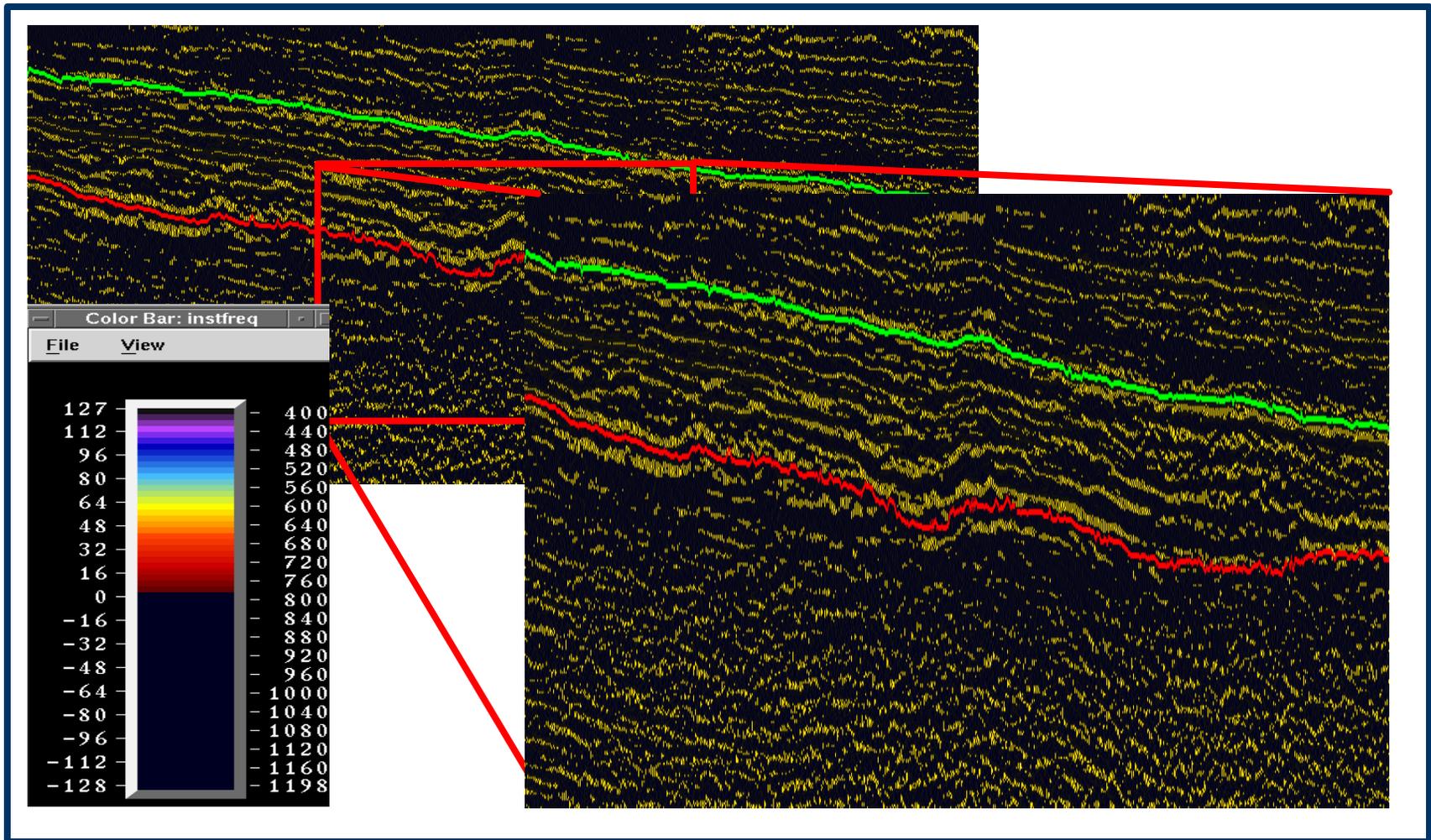


FIGURA 5.30 Ejemplo de la traza sísmica original, línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que la escala de color aplicada es la correspondiente al atributo de frecuencia instantánea.

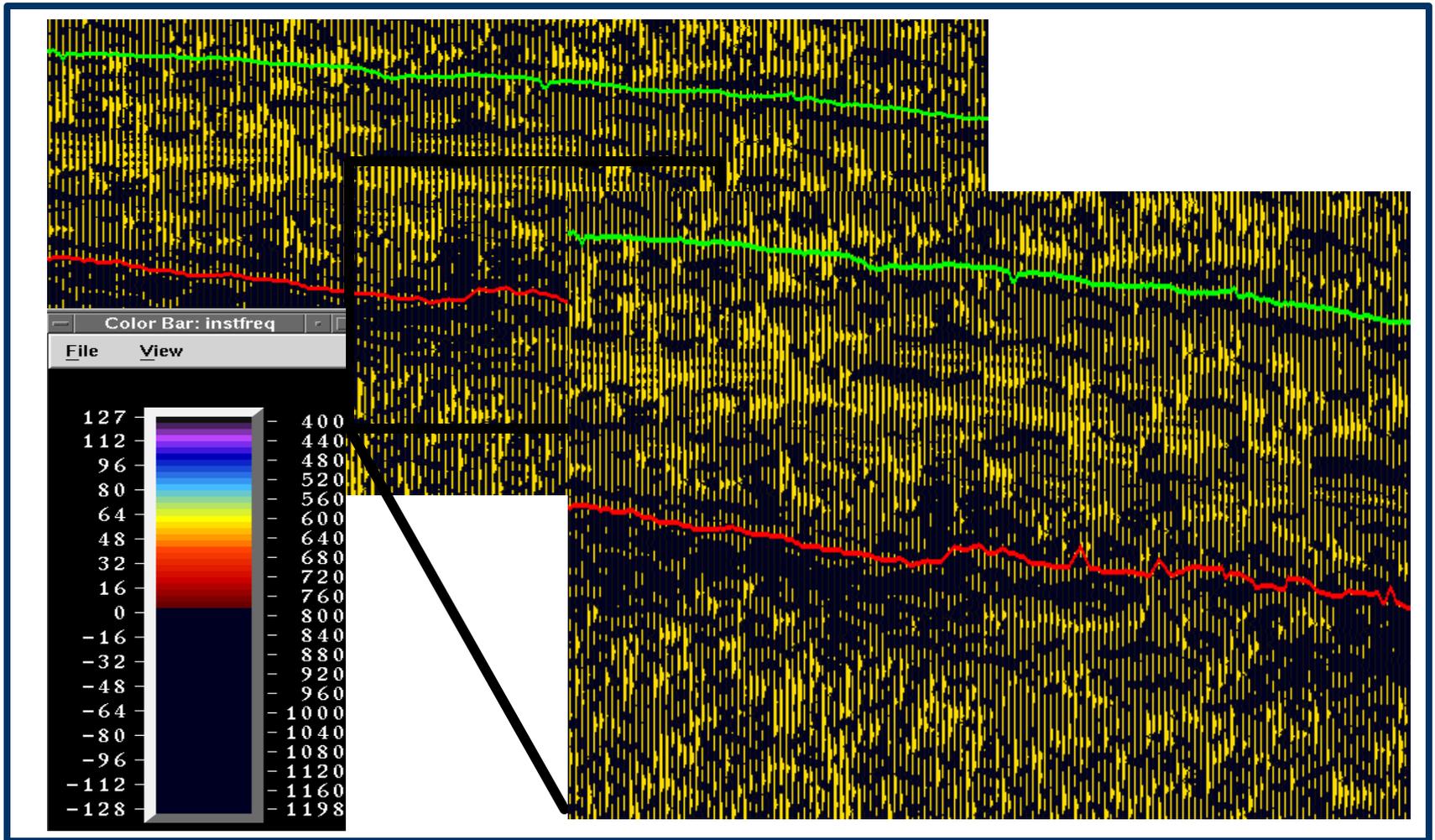


FIGURA 5.31 Ejemplo de la traza sísmica original aplicando el atributo de frecuencia instantánea, línea sísmica LBV-95C-07, tomando en cuenta que para este atributo, los valores de frecuencia negativos no se refleja la escala de color.

Para el caso del 3D se le aplico como atributo estructural la segunda derivada (edge). Este atributo enfatiza discontinuidades en una imagen, detecta los cambios de buzamiento en un horizonte, usando un algoritmo específico. La segunda derivada implica la comparación de puntos alrededor de una sola muestra puntual, en una imagen original. Existen muchos algoritmos desarrollados para realizar esta comparación. Uno de estos es el que compara muestras en ambos lados de cada muestra puntual, llamado detección de bordes o una matriz 3x3 (tres muestras de cada lado de un punto en diferentes direcciones), esta técnica se ilustra en el siguiente esquema:

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>

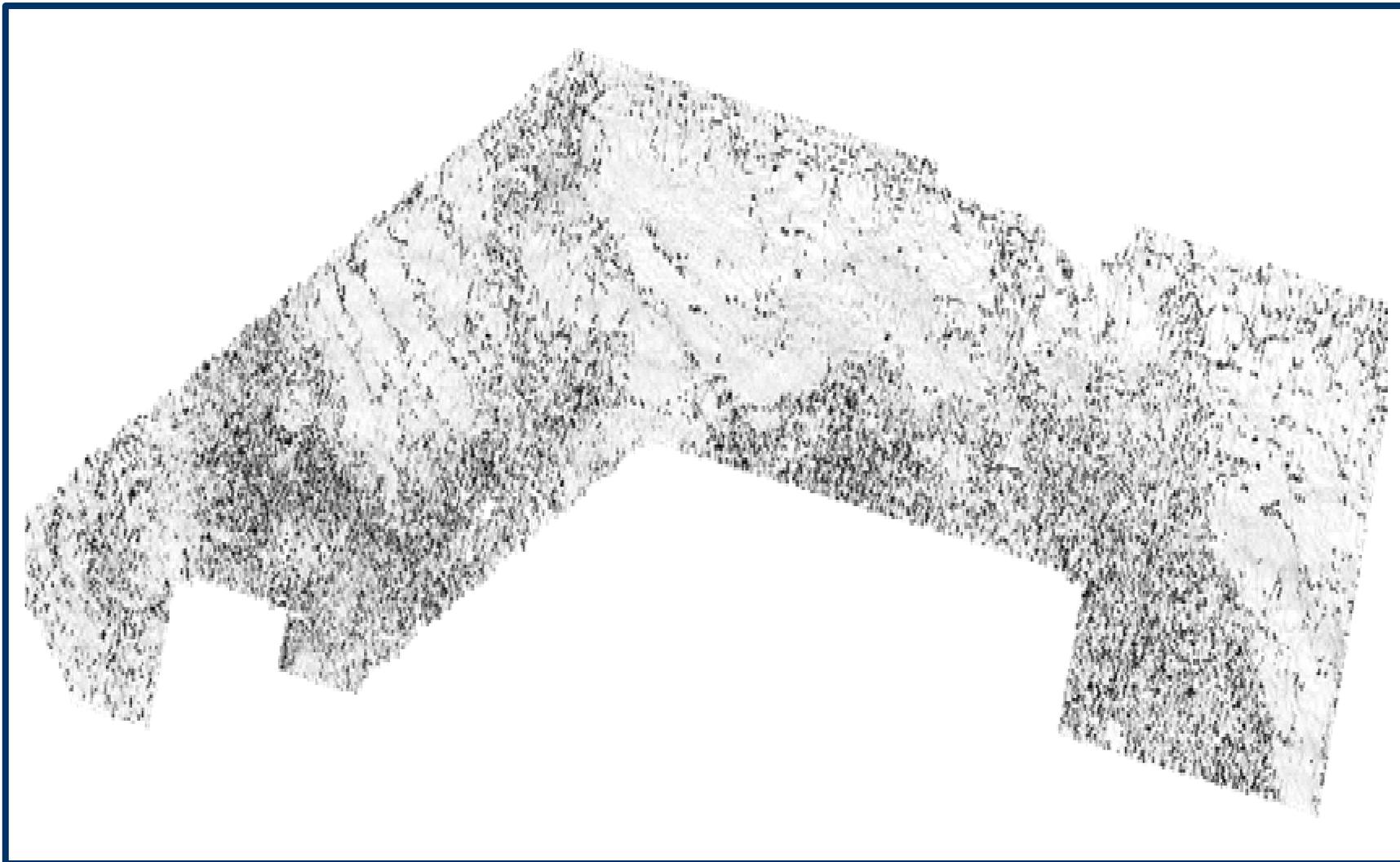
En este esquema la muestra puntual está definida por la letra E, la diferencia entre las columnas es igual a  $x$  y la diferencia entre las filas es igual a  $y$ . Las ecuaciones para calcular  $x$  e  $y$  en la muestra puntual son las siguientes:

$$X = (C + 2 * F + I) - (A + 2 * D + G)$$

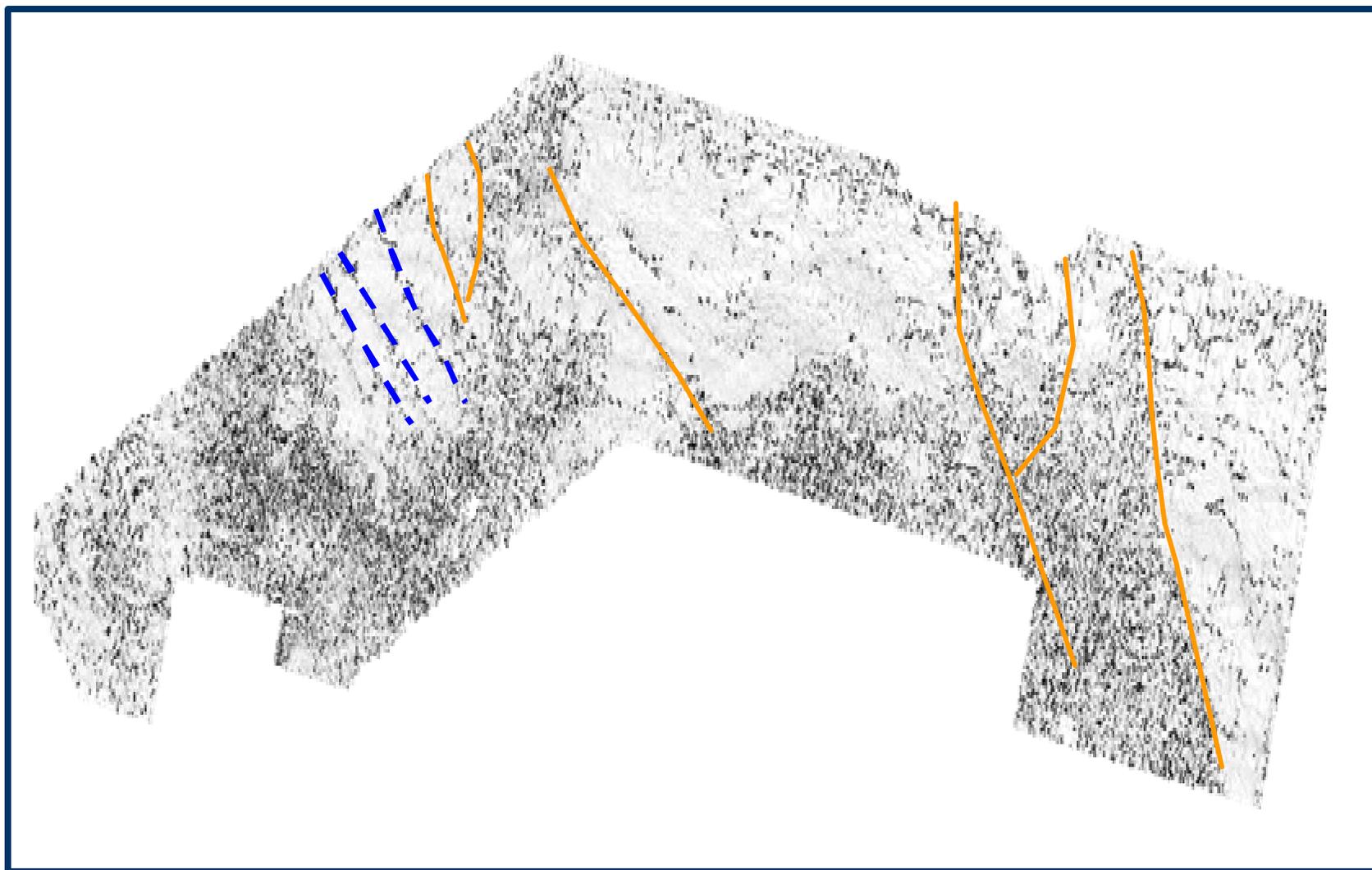
$$Y = (A + 2 * B + C) - (G + 2 * H + I)$$

$$\text{Borde} = X^2 + Y^2$$

El resultado de los cálculos de la segunda derivada es un plano que conecta los resultados de la matriz 3x3 en cada muestra del horizonte original. A continuación se muestra la aplicación de este atributo para el volumen del 3D correspondiente al norte del área periférica del campo Tía Juana (Fig. 5.32).



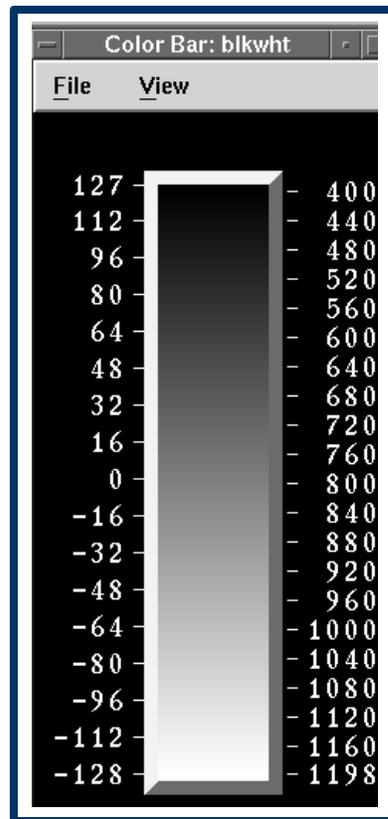
**FIGURA 5.32** Aplicación del atributo Edge en un volumen sísmico de datos sísmicos 3D correspondiente al campo Tía Juana.



**FIGURA 5.33** Representación de fallas a partir del atributo Edge.

En la figura 5.33 se puede observar alineaciones asociadas a fallas con la interpretación y de este atributo, verificando los alineamientos correspondientes a fallas. Para este caso, las fallas de color naranja corresponden a fallas validadas en la interpretación mientras que las azules corresponden a posibles alineamientos de fallas. El resultado de este atributo no resultó muy bueno debido a que el procesamiento de los datos sísmicos no son óptimos.

La escala de color correspondiente a este atributo es el que se muestra a continuación (Fig. 5.34)



**FIGURA 5.34** Escala de color para el atributo Edge

### 5.1.7 Conversión Tiempo – Profundidad.

Después de realizada la interpretación sísmica estructural y los mapas estructurales en tiempo, se procedió a la generación de mapas estructurales en profundidad, para cada uno de los horizontes estudiados. Para este fin, se procedió a generar una función de conversión para cada uno de los reflectores interpretados.

Lo primero que se realizó es la exportación de la información de tiempo obtenida de los mapas en “ZmapPlus” de cada uno de los horizontes a una hoja de Excel. Este archivo contiene coordenadas UTM, nombre del pozo, profundidad (TVDSS) y el tiempo. Para hacer el cálculo de la profundidad se procedió a graficar cada uno de los valores de tiempo (eje x) y profundidad “TVDSS” (eje y).

En la Tabla 5.3 se muestra la función obtenida para cada uno de los horizontes interpretados y en la figura 5.35, 5.36, 5.37 y 5.38 se tiene el gráfico T-Z con su correspondiente función de velocidad. Los archivos exportados en la hoja de Excel con los cálculos de profundidad se muestran en las tablas del apéndice # 3.

<b>Horizonte</b>	<b>Función</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Discordancia del Eoceno	$Y = -3.9613 * t + 941.67$	0.962
Tope Miembro Lagunillas Inferior	$Y = -3.7188 * t + 776.73$	0.969
Tope Miembro Laguna	$y = -3.4938 * t + 477.85$	0.986
Tope Miembro Bachaquero	$Y = -3.1887 * t + 335.59$	0.988

**TABLA 5.3 Funciones matemáticas obtenidas para la conversión tiempo-profundidad**

El siguiente paso para convertir a profundidad y generar el mapa, se realizó a partir de las aplicaciones de “ZmapPlus” de la plataforma LandMark<sup>TM</sup>. Se creó un “grid” en profundidad para cada uno de los horizontes interpretados, a partir de los valores obtenidos de la ecuación de la recta, utilizando la opción “Grid Operating” seleccionando el archivo del “grid” obtenido de los contornos editados en tiempo, luego en “Operatin” se coloca el escalador multiplicar y se introduce el valor que representa la velocidad del reflector (m), se crea el “InputGrid”, luego se selecciona este archivo y con la misma secuencia al anterior, en “Operatin” se utiliza el escalador sumar “Bias” introduciendo el valor de la constante (b). Una vez hecho esto tenemos el “grid” de profundidad.

Además, se utiliza el algoritmo de interpolación denominado “Back Interpolation” a fin de obtener, para cada pozo, la profundidad asociada a cada horizonte interpretado, comparando estos valores con los obtenidos en la lista anterior se tienen los mismos valores, por lo que se prosigue al siguiente paso. Con el “grid” obtenido se calculó el error, que no es más que la resta de las profundidades de cada horizonte arrojadas por pozos (TVDSS) y la profundidad obtenida a partir del algoritmo de interpolación “Back Interpolation”. Estos cálculos se realizaron con la opción “Dual Data “Operations”, después se seleccionó el archivo que generó la interpolación y se selecciona cada campo que se va a restar con “Data ‘Operation”. En “Input” selecciono “Field A” (valores TVDSS) y “Field B” (valores de profundidad calculada), una vez realizado esto se tiene el archivo que se utilizará para el “grid” del Error, para luego sumarlo al “grid” de profundidad a partir de la ecuación de la recta creado anteriormente.

Para sumar ambos “grid” ( **Grid de Profundidad + Grid de Error** ), se utilizó la aplicación “Grid Operation” del mismo “ZmapPlus” se selecciona “Dual Grid Operation” luego se escoge “Grid A” y “Grid B”, para después en “Operation” se selecciona la operación de adición “Add”, “Apply” y “Save”. Todo esto para obtener el “grid” correspondiente a la profundidad corregida, el cual a partir de éste, se procede a contornear. Por último, una vez obtenidos los contornos y los polígonos de fallas se elaboró el respectivo mapa estructural en profundidad, el cual será revisado y editado una vez ajustados con las profundidades de pozos (TVDSS).

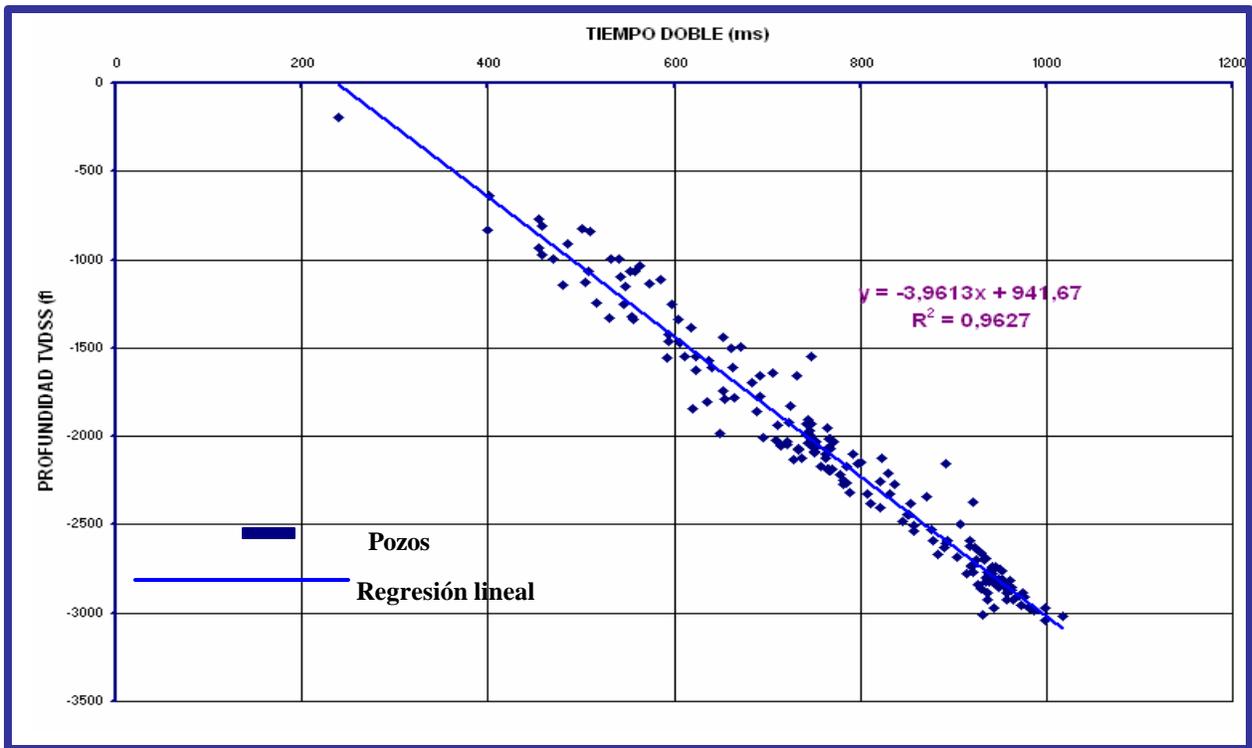


FIGURA 5.35 Curva Tiempo – Profundidad para la conversión de la discordancia del Eoceno.

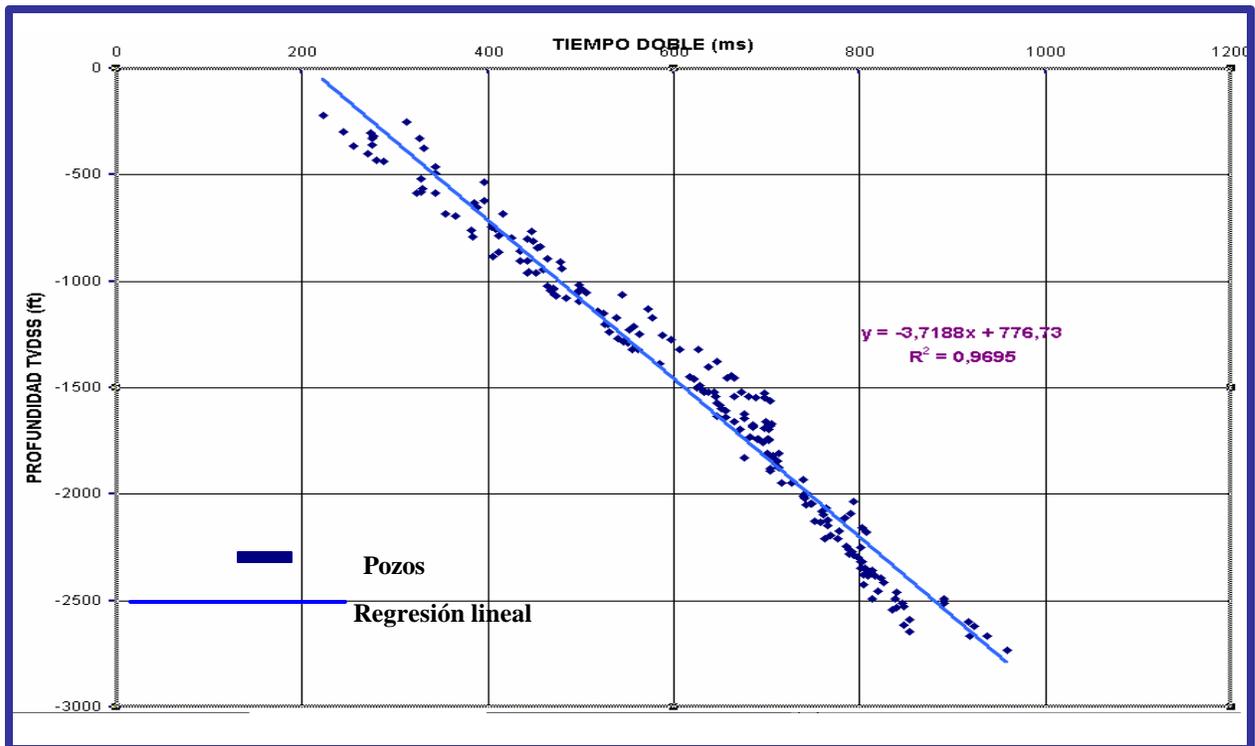


FIGURA 5.36 Curva Tiempo profundidad para la conversión del Miembro Lagunillas Inferior.

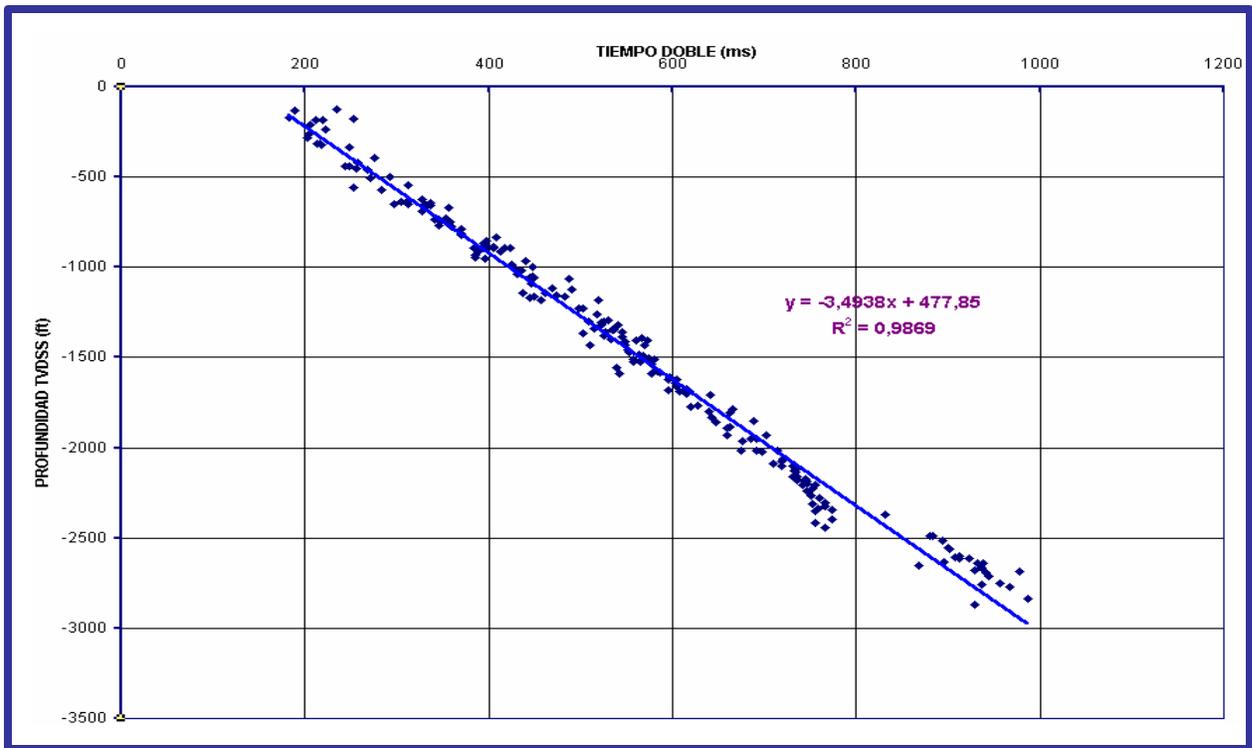


FIGURA 537 Curva Tiempo – profundidad para la conversión del Miembro Laguna.

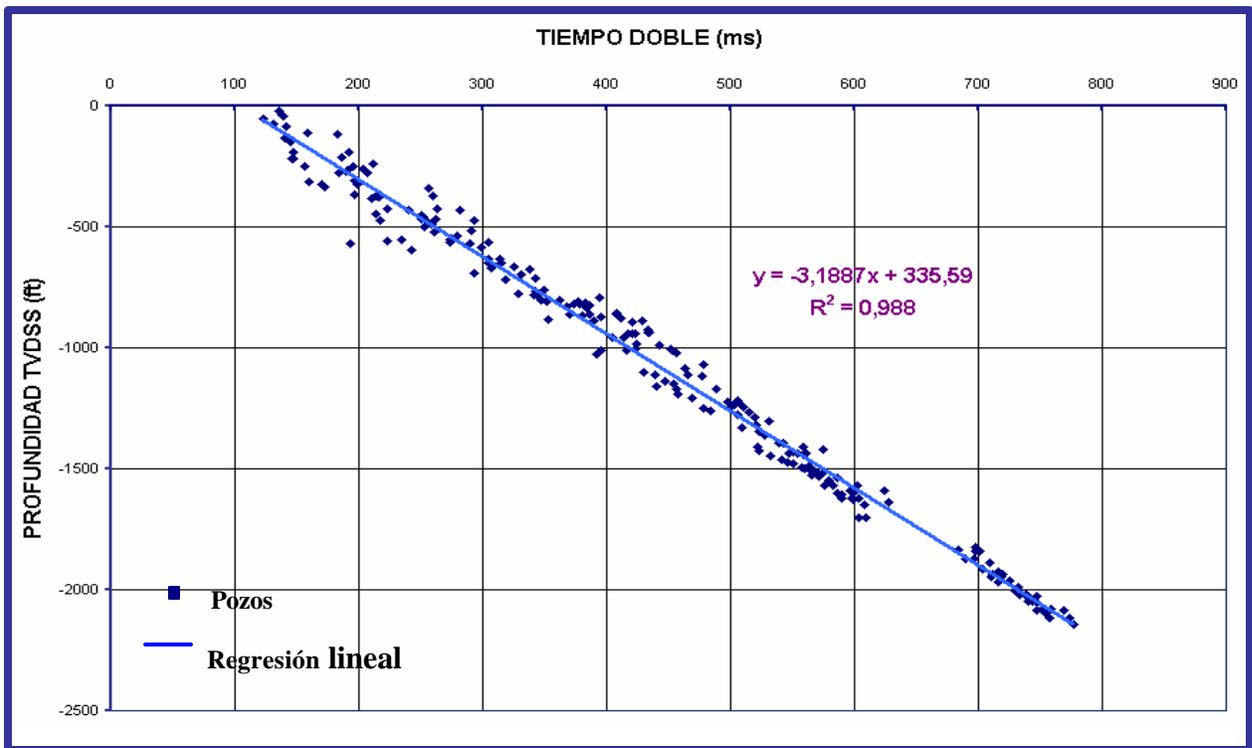


FIGURA 5.38 Curva Tiempo-profundidad para la conversión del Miembro Bachaquero

### 5.1.8 Representación de horizontes y polígonos de fallas

La interpretación que se realizó de las fallas en la sísmica 2D arroja como resultado una serie de polígonos de fallas. Para la construcción de los polígonos de fallas en 3D se procedió a exportar los archivos de los horizontes en profundidad permitiendo representar estos polígonos como un modelo estructural visualizado en 3D.

Los polígonos de fallas en profundidad son exportados hacia *CPS-3<sup>TM</sup>*, el cual me permite realizar el modelaje de las estructuras para luego ser visualizadas en 3D, a partir del módulo *SurViz<sup>TM</sup>* y *GeoViz<sup>TM</sup>* (*Charisma<sup>TM</sup>*) En las figuras 5.39, 5.40, 5.41 y 5.42 se muestra la representación de los polígonos de fallas correspondiente a cada uno de los horizontes interpretados, obteniendo de esta manera el modelo estructural correspondiente a los campos Lagunillas y Tía Juana.

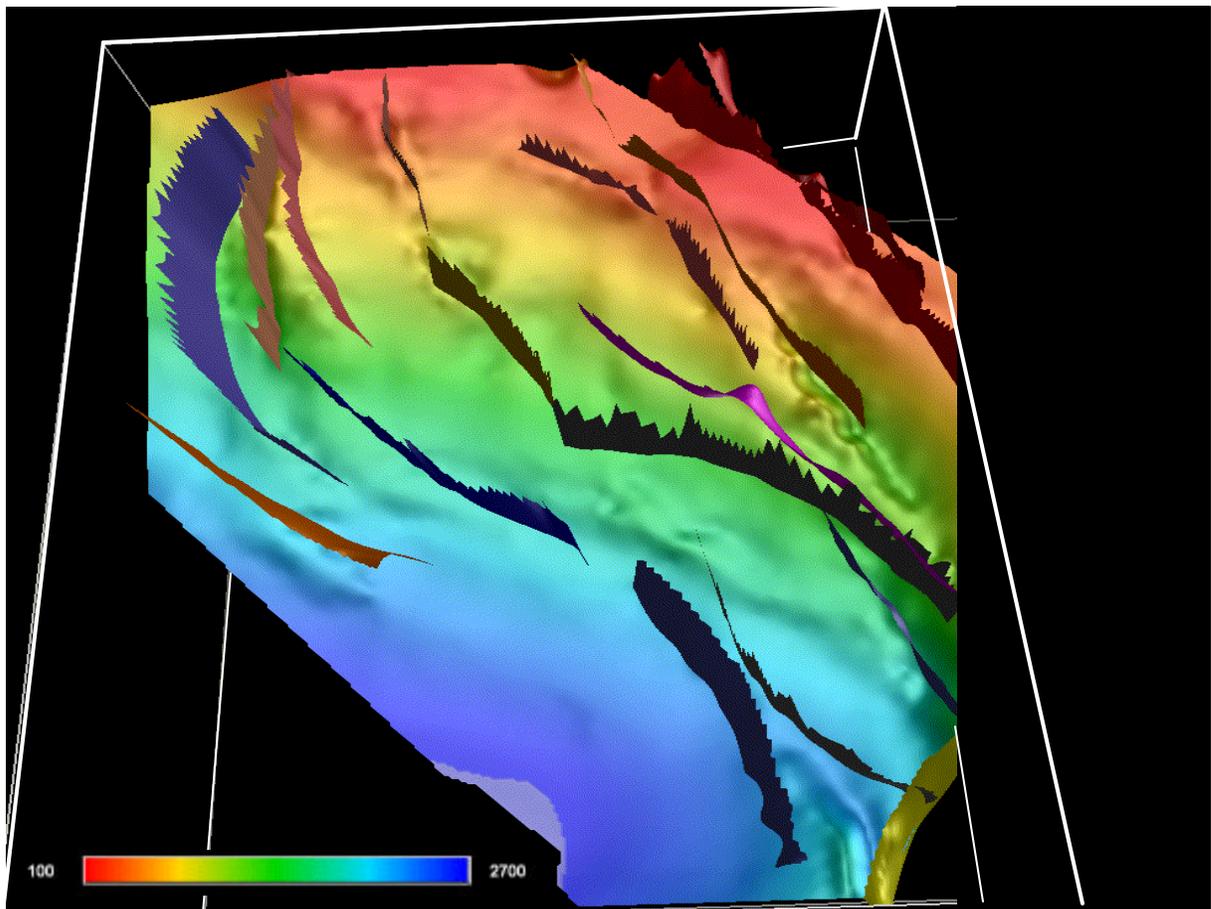
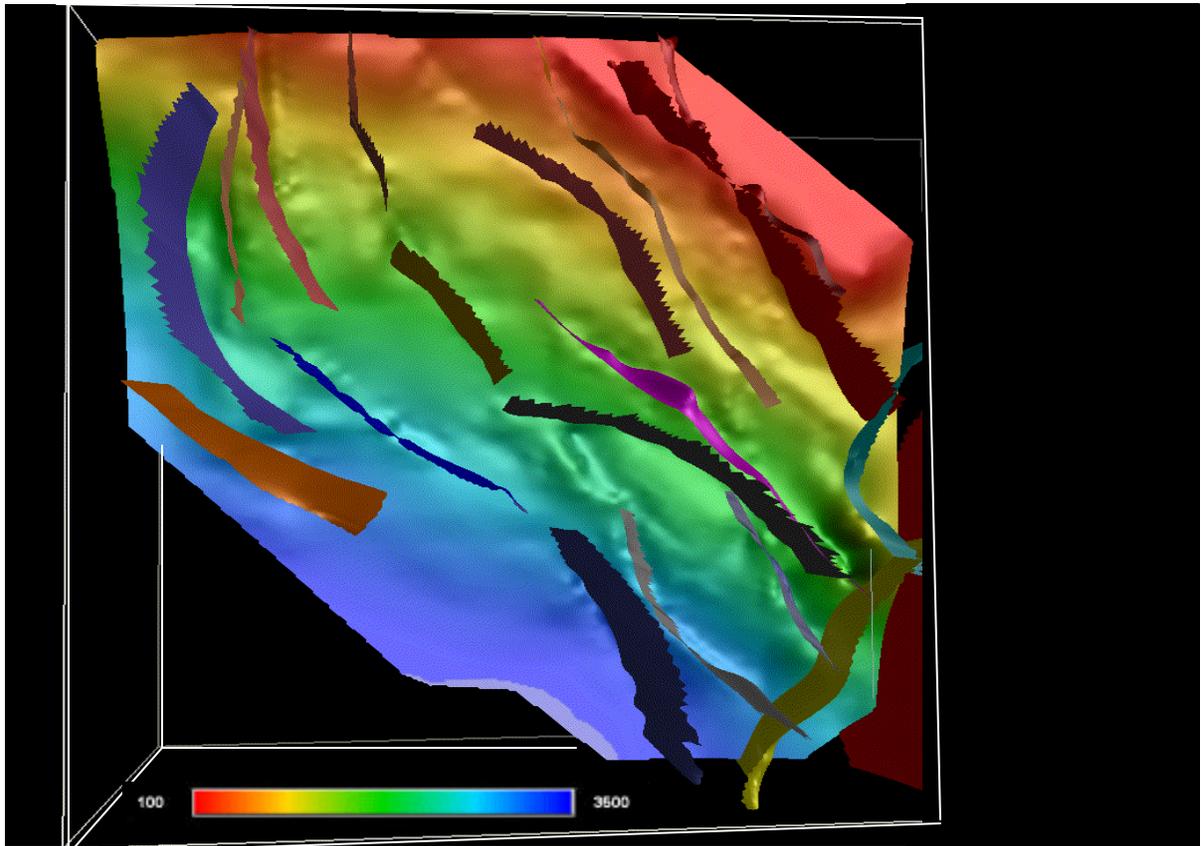
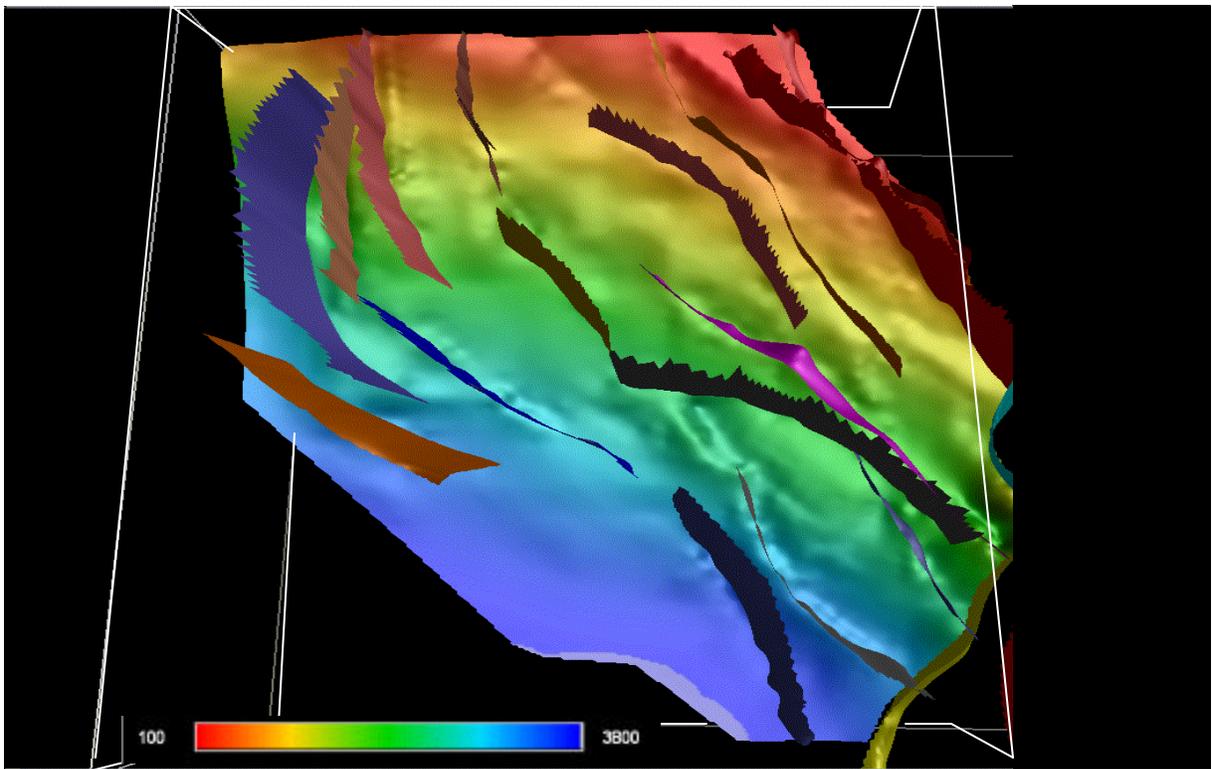


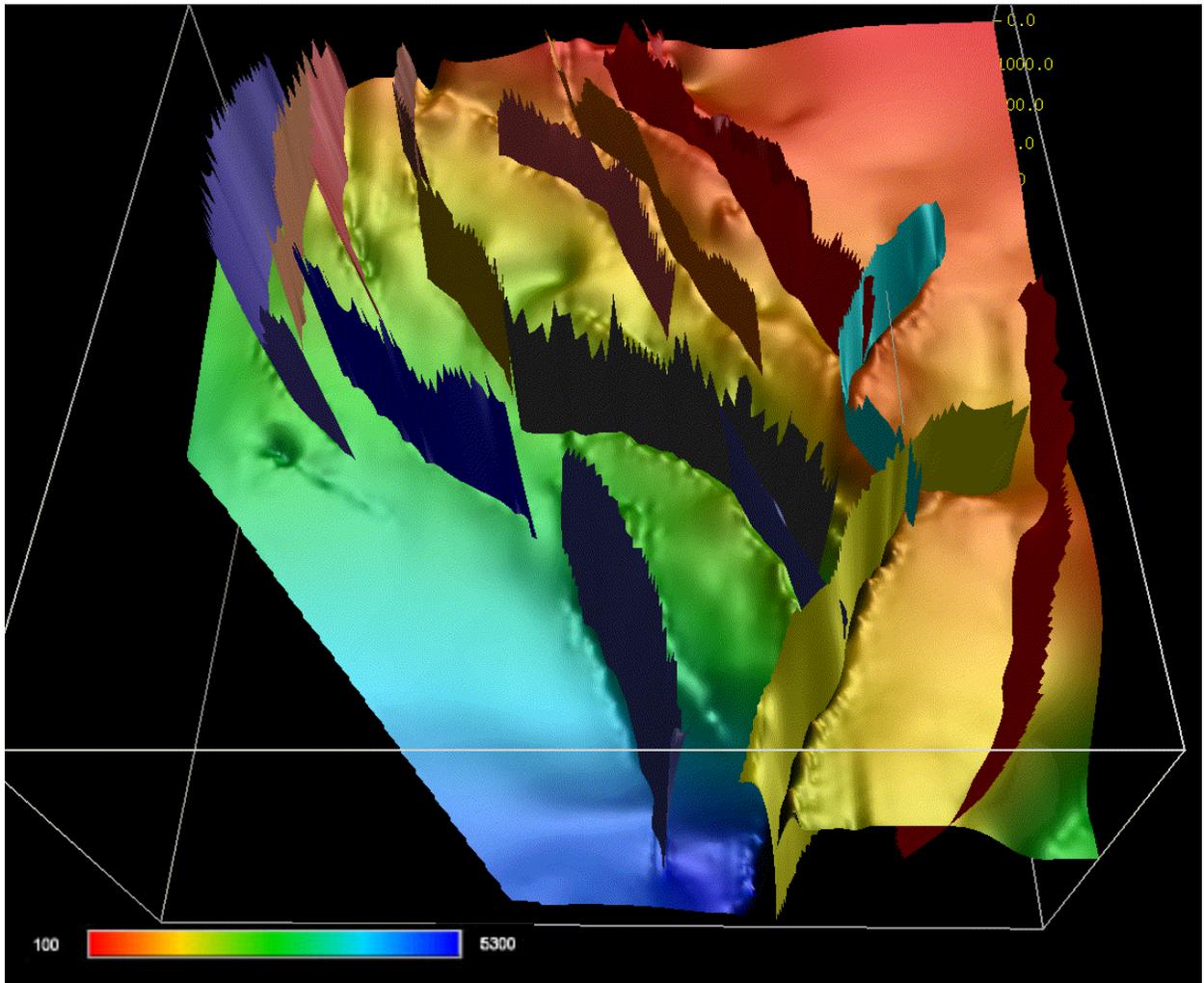
FIGURA 5.39. Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Bachaquero



**FIGURA 5.40. Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Laguna.**



**FIGURA 5.41. Modelo estructural con fallas en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior.**



**FIGURA 5.42.** Modelo estructural con fallas en profundidad a la discordancia del Eoceno.

### ***5.1.9 Edición y generación de los mapas estructurales en profundidad.***

Los mapas en profundidad, para cada uno de los horizontes interpretados, se realizó a partir del programa *Zmap Plus<sup>TM</sup>* de la plataforma *LandMark<sup>TM</sup>*, el cual permitió a su vez contornear y editar los mismos.

Para ello se le asignaron líneas estructurales cada 100 pies, las cuales fueron corregidas, primero por los marcadores geológicos de los pozos, posteriormente fueron humanizadas para que mostraran una tendencia geológica acorde con lo interpretado.

En el capítulo de análisis de los resultados se muestran los mapas estructurales correspondientes a cada uno de los horizontes interpretados. En estos mapas se puede resaltar que la tendencia preferencial de los contornos es en dirección NNO-SSE, la profundización de los mismos es hacia el SSE con excepción del mapa estructural de la Discordancia del Eoceno, éste representa hacia la parte SE del área profundidades someras con respecto al resto del campo, producto del Alto Pueblo Viejo, a su vez esta representado por líneas de contorno con profundidades a partir de los 200 pies hasta 5000 pies, dentro del Alto Pueblo Viejo, los contornos tienen dirección distinta al resto del campos y es de NNE (Fig. 6.1 y 6.2).

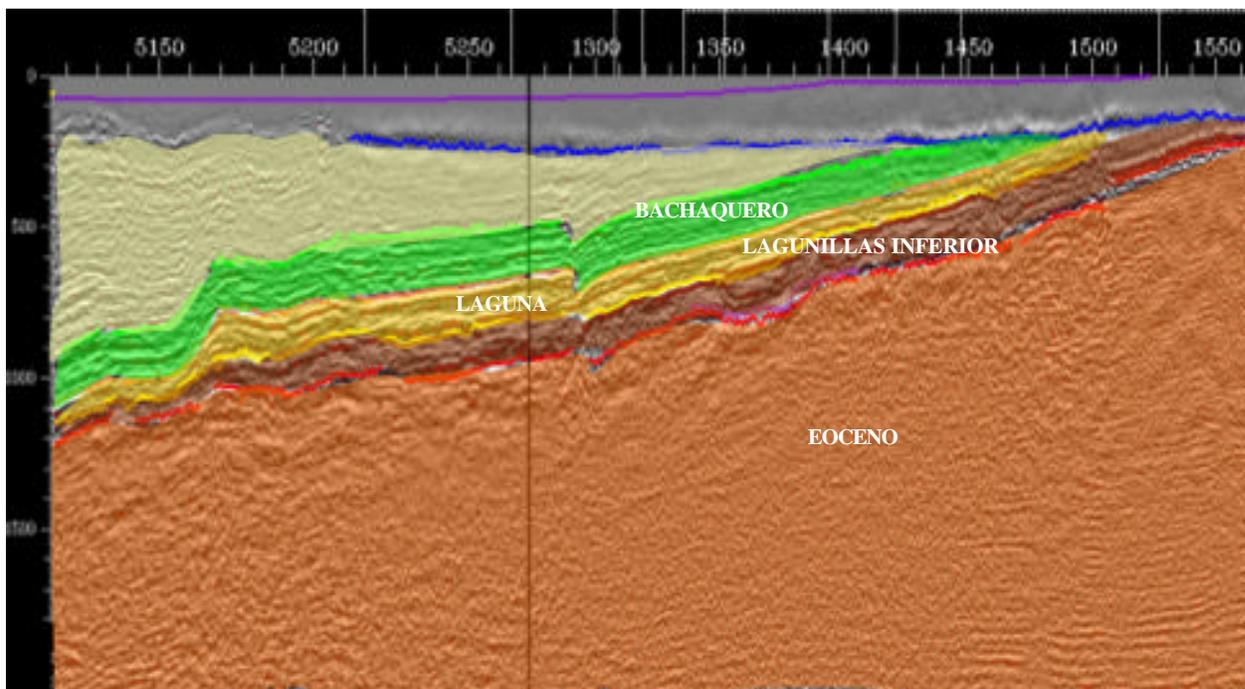
La figura 6.3 y 6.4 representa el mapa correspondiente al tope del Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas. En este mapa los contornos en profundidad oscilan desde los 200 pies hasta los 3800 pies. Se observa en el Miembro Lagunillas Inferior no se tiene la presencia de la falla de Pueblo Viejo.

Las figuras 6.5 y 6.6 se presentan los mapas de los topes de los Miembros Laguna y Bachaquero, respectivamente. Estos mapas muestran tendencias similares, homoclinales buzando al sur-oeste. Los contornos del Miembro Laguna oscilan desde 300 pies hasta 3300 pies. Para el mapa estructural del tope del Miembro Bachaquero de la Formación Lagunillas los contornos se encuentran desde 100 pies hasta los 2700 pies (Fig. 6.7 y 6.8).

## 5.2 Interpretación de eventos estratigráficos.

El principio fundamental para la interpretación estratigráfica de datos sísmicos es el de “secuencia sísmica”. Se define secuencia sísmica “como una sucesión relativa conformable de reflexiones dentro de una sección sísmica, interpretadas como estratos relacionados genéticamente. Esta sucesión está limitada hacia su tope y base por superficies de discontinuidad marcadas por terminaciones de reflexión e interpretadas como discordancias” (CIED, 1996).

Cuando se habla de sucesión relativa conformable de reflexiones se refieren a aquellas que muestran una geometría o disposición similar dentro de una unidad en las secciones sísmicas. En la figura 5.43 se presenta el modelo de secuencia sísmica correspondiente a la Formación Lagunillas (Miembro Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero de edad Mioceno Medio) y la discordancia del Eoceno.



**FIGURA 5.43** Modelo de secuencia sísmica, correspondiente a la Formación Lagunillas y la discordancia del Eoceno.

El Miembro Bachaquero es considerado un tope de secuencia y a su vez como una superficie de máxima inundación, debido a su continuidad a través del campo y su contenido fósil y litológico. La base del Miembro Bachaquero también es considerada como un límite de secuencia, debido a su carácter regional erosivo e irregular a lo largo del campo.

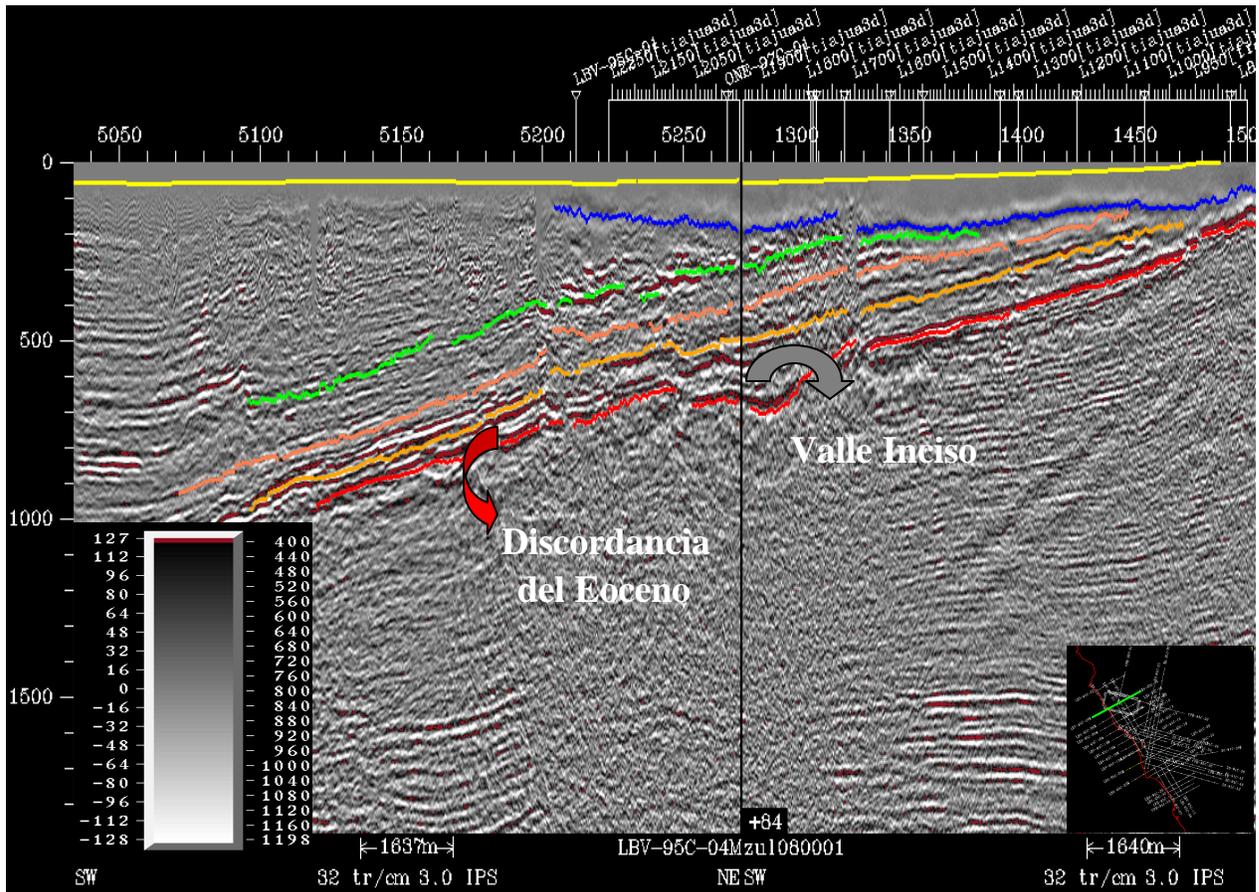
A pesar de no contarse con la información necesaria para una interpretación estratigráfica detallada, se interpretaron e identificaron rasgos estratigráficos tales como: geometría de valles excavados o canales, onlap y truncaciones.

### ***5.2.1 Identificación de Valles Incisos o canales.***

Cuando la plataforma se expone por un decrecimiento del nivel del mar (por debajo del quiebre de talud); se erosiona la plataforma formando lo que se denominan valles incisos o excavados. El relleno de estos valles excavados, es proveniente de la erosión de la superficie expuesta.

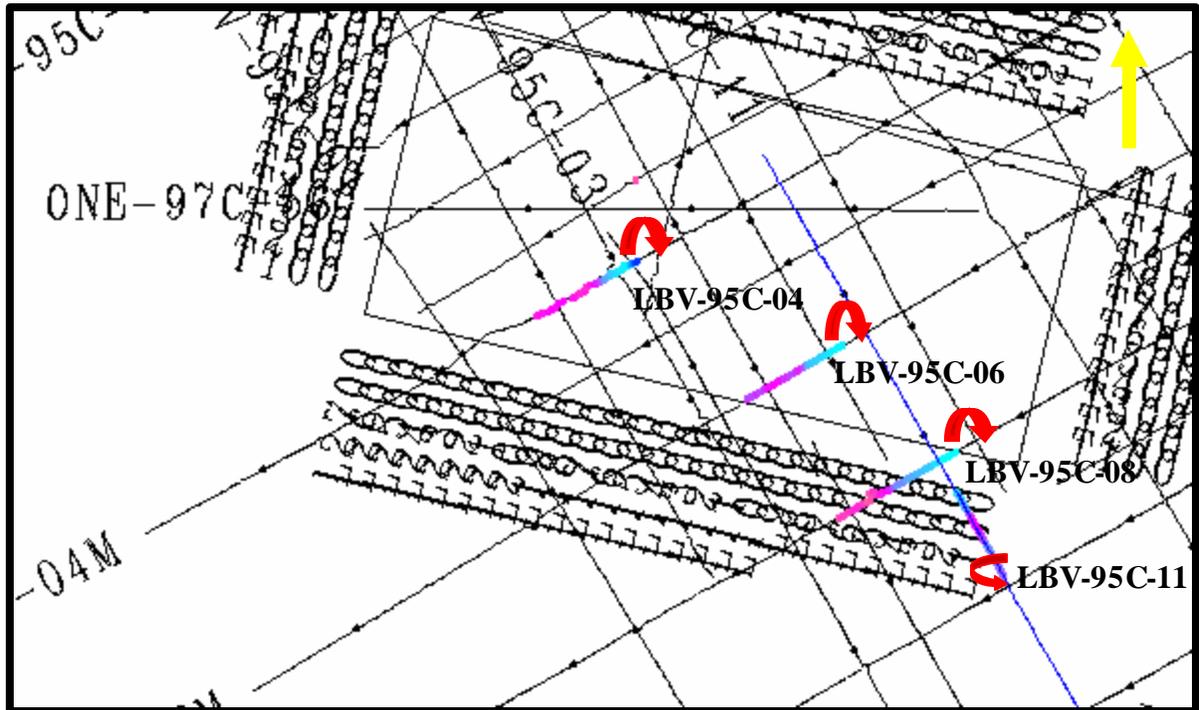
Estos rellenos pueden estar compuestos de muchos tipos de sedimentos provenientes de una infinidad de ambientes sedimentarios. Los ambientes sedimentarios y las distintas rocas asociadas a los mismos en la parte superior de los rellenos de valles que se encierran del límite de secuencia areniscas fluviales con alteraciones, debido a las acciones de las mareas, areniscas de sistemas entrelazados, estuarinas, plano costero, lutitas o exclusivos carbones. Estos depósitos descansan sobre lutitas de plataforma media a externa.

En la interpretación de la sísmica bidimensional, se identificaron geometrías de posibles valles incisos o canales. Principalmente en la base del Miembro Lagunillas Inferior, producto de un decrecimiento del nivel del mar. (Fig. 5.44 y 5.45). Se observa que en la figura 5.44 se muestra en la sección vertical que el valle inciso interpretado corresponde a valores de máxima amplitud (como se resalta en la escala de color), lo que indica la probable presencia de capas de arenas.



**FIGURA 5.44** Línea sísmica LBV-95C-04M y 04, dirección SW-NE. Muestra Valle Inciso interpretado

En la figura 5.45 se muestra el mallado obtenido de la interpretación, para la ubicación de la geometría de los valles incisos presentes en las líneas sísmicas bidimensionales (LBV-95C-04; LBV-95C-06; LBV-95C-08 y LBV-95C-11) correspondientes al campo Tía Juana a nivel del Miembro Lagunillas Inferior. La extensión transversal de estos valles incisos es de 1.6Km a 1.8Km aproximadamente, y con espesores de aproximadamente 300 a 350 pies.



**FIGURA 5.45. Mallado de la interpretación de los datos sísmicos 2D, se muestra la ubicación de la interpretación de la geometría de los valles incisos en las líneas LBV-95C-04; LBV-95C-06; LBV-95C-08 y LBV-95C-11**

En la figura 5.46 se observa la secuencia de secciones sísmicas correspondientes a las líneas donde se interpretó este tipo de geometría que pueda corresponder a valles incisos o canales, como se resalta en la ubicación de la figura anterior. En vista, de que estas líneas son en las que se pudo tener esta interpretación, y corresponden en tiempo y edad al nivel de estos valles incisos.

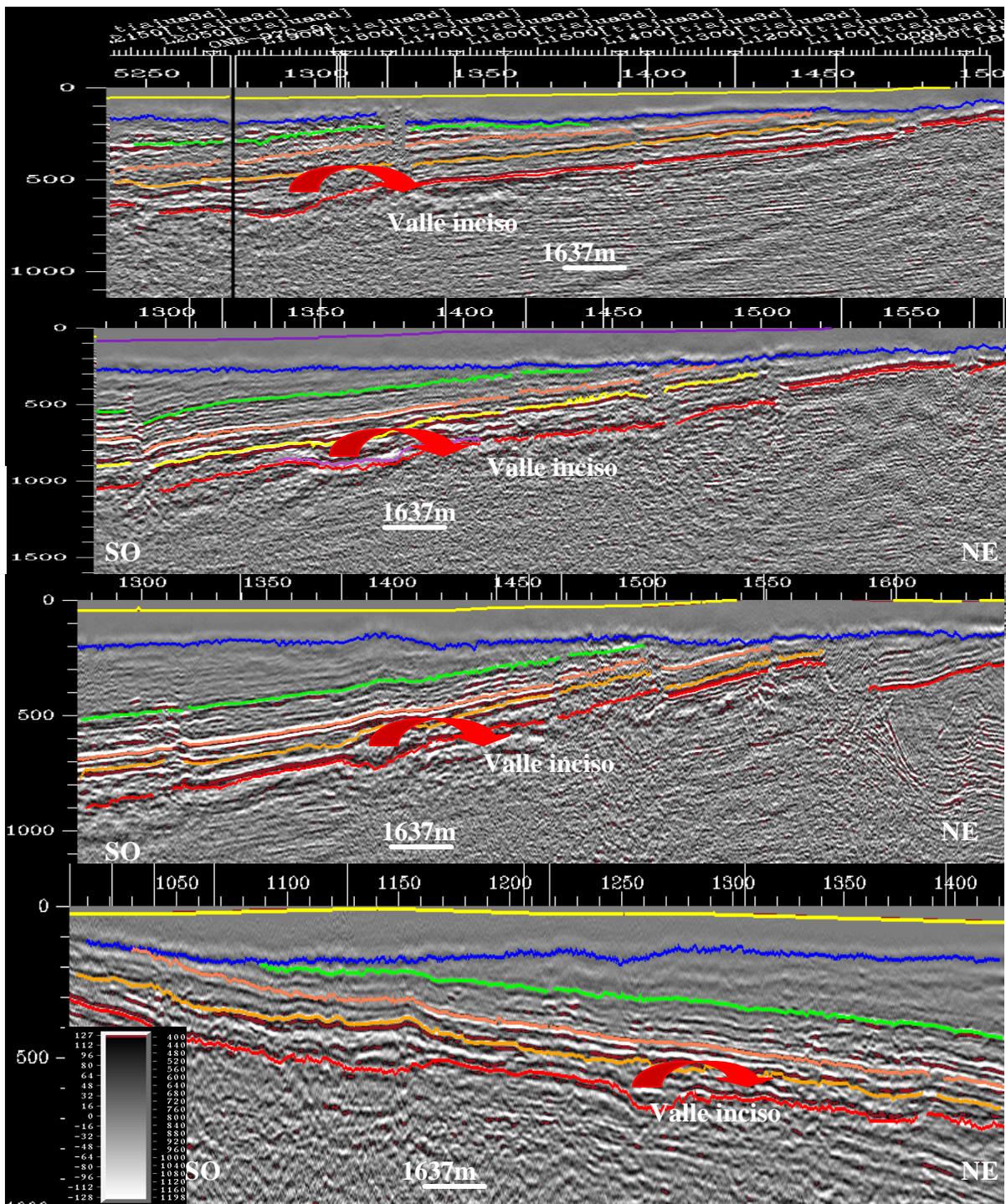
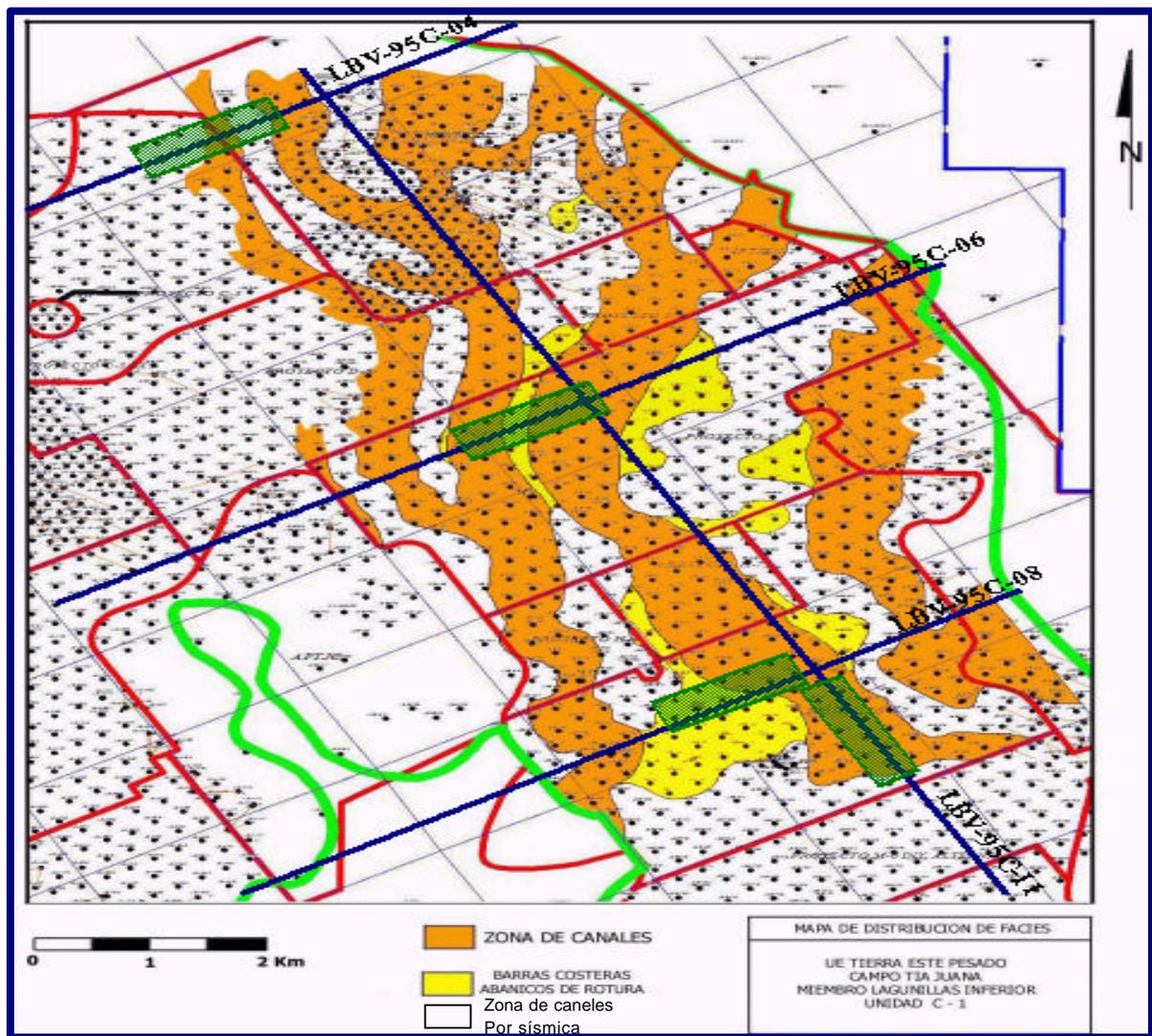


FIGURA 5.46 Representación de las sección sísmicas correspondiente al campo Tía Juana, en ellas se resalta la geometría de los valles incisos o canales.

A partir de trabajos previos realizados en la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado, se conoce la presencia de canales. (Fig. 5.47).

Ahora bien, la interpretación de las secciones sísmicas realizadas en el área y el análisis estratigráfico, dieron como resultado la ubicación de posibles valles incisos. Entonces, la interpretación sísmica y este análisis estratigráfico corroboran las bibliografías consultadas y los trabajos previos (estratigráficos y sedimentológicos) realizados en el área, los cuales la describen como un área característica de canales al nivel de la base del Miembro Lagunillas Inferior.



**FIGURA 5.47** Representación de zonas de canales en el campo Tía Juana del Miembro Lagunillas Inferior en base a pozos. Los recuadros resaltados de color verde representan la ubicación de los valles incisos interpretados en este trabajo.

## **6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **6.1 Análisis de los mapas estructurales en profundidad**

Una vez obtenidos los mapas en tiempo y convertido los mapas en profundidad, para cada uno de los horizontes interpretados, se procede a analizar los mapas estructurales para cada uno de los topes de interés de los campos Tía Juana y Lagunillas.

El análisis de las estructuras observadas tanto en la sísmica 2D, así como la revisión de los mapas en profundidad obtenidos, indican que la estructura en el post - Eoceno muestra un homoclinal de dirección NNO – SSE con un buzamiento orientado en dirección OSO-ENE. Las formaciones mas antigua del campo Costanero Bolívar están intensamente plegadas y falladas, estas fallas se extienden y cortan los sedimentos Oligo–Mioceno, como es el caso de la gran falla Pueblo Viejo, falla inversa de gran dimensión, estas fallas conforman los rasgos estructurales más importantes del área de estudio.

El análisis de los mapas estructurales en profundidad generados a partir de la interpretación de la superficie de interés muestran los cambios en el rumbo y buzamiento de las estructuras principales. Una copia de estos mapas originales se encuentra como anexos.

#### ***6.1.1 Mapa Estructural en profundidad del tope de la discordancia del Eoceno***

El mapa estructural elaborado en los campos Lagunillas y Tía Juana para la discordancia del Eoceno muestra que la estructura es de tipo homoclinal con un rumbo NNO-SSE el cual se extiende hacia el SE del campo, con buzamiento aproximadamente de 3° a 5° al OSO-ENE, estructura mas sobresaliente del campo Tía Juana, debido al levantamiento del Alto de Pueblo Viejo (ubicado en la región SE) los buzamientos se tornan mas altos de aproximadamente 25° - 30°. Se observa que los sedimentos mas profundos se tienen en el SO y lo mas somero en el NE. También se puede apreciar que como consecuencia de este alto la discordancia del Eoceno es somera a nivel de la falla de Pueblo Viejo (Fig. 6.1 y 6.2).

Se observan dos sistemas de fallamiento: un lineamiento o fallamiento principal en dirección del rumbo y otro secundario con tendencia NE. En este mapa estructural se identifica la falla de Pueblo Viejo en el campo Lagunillas como una falla inversa sinistral de dirección NE-SO, los cuales se asocian según la dirección de esfuerzos y tipo de fallas a un régimen tectónico compresivo durante el Eoceno los cuales provocaron la reactivación del sistema de fallas presentes en el área.

Se identificaron fallas normales en el resto de los campos Lagunillas y Tía Juana, las cuales se deben a un régimen tectónico extensivo con dirección NNO – SSE y NO-SE, estas fallas son compensatorias de los esfuerzos que tienen influencia sobre los sedimentos del mioceno.

El patrón de fallas normales que se presenta en el mapa estructural de la formación en estudio son fallas paralelas al rumbo de la estructura, fallas de gran extensión y con buzamientos NE y SO. Los saltos de fallas que promedian en la parte norte del mapa son, aproximadamente, de 50 a 100 pies, todas estas fallas se extienden y cortan la falla inversa con 1000 a 2000 pies de salto aproximadamente.

Las fallas que se observan al NE del campo atraviesan toda el área, indicando continuidad del marco estructural en ambos campos. En el lago de Maracaibo se observan dos fallas con dirección NNO- SSE y NO- SE con buzamiento SO – NE respectivamente. El tren de falla que se observa en la región nor-oeste del mapa, tiene continuidad al lago, con dirección NNE y buzamientos NO – SE.

La interpretación del cubo sísmico 3D permitió tener un mejor amarre de las fallas que se obtuvo del resultado de la interpretación de las líneas sísmicas 2D; esta interpretación del 3D permitió resaltar dos fallas inversas de poca extensión, no identificadas por el 2D, fallas que se generaron a partir de eventos tectónicos compresivos.

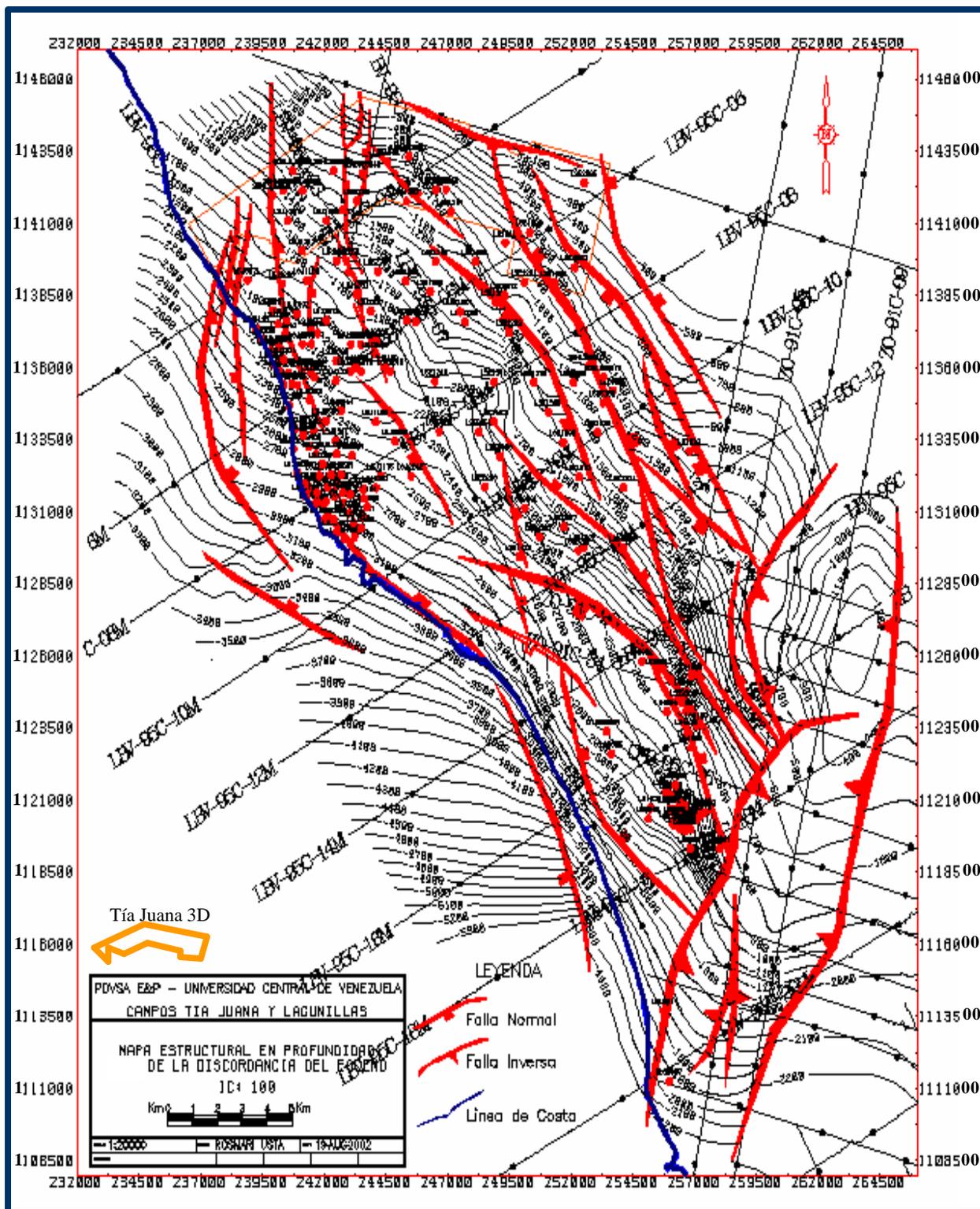


FIGURA 6.1 Mapa Estructural en profundidad la discordancia del Eoceno generado a partir del programa Zmap Plus™.

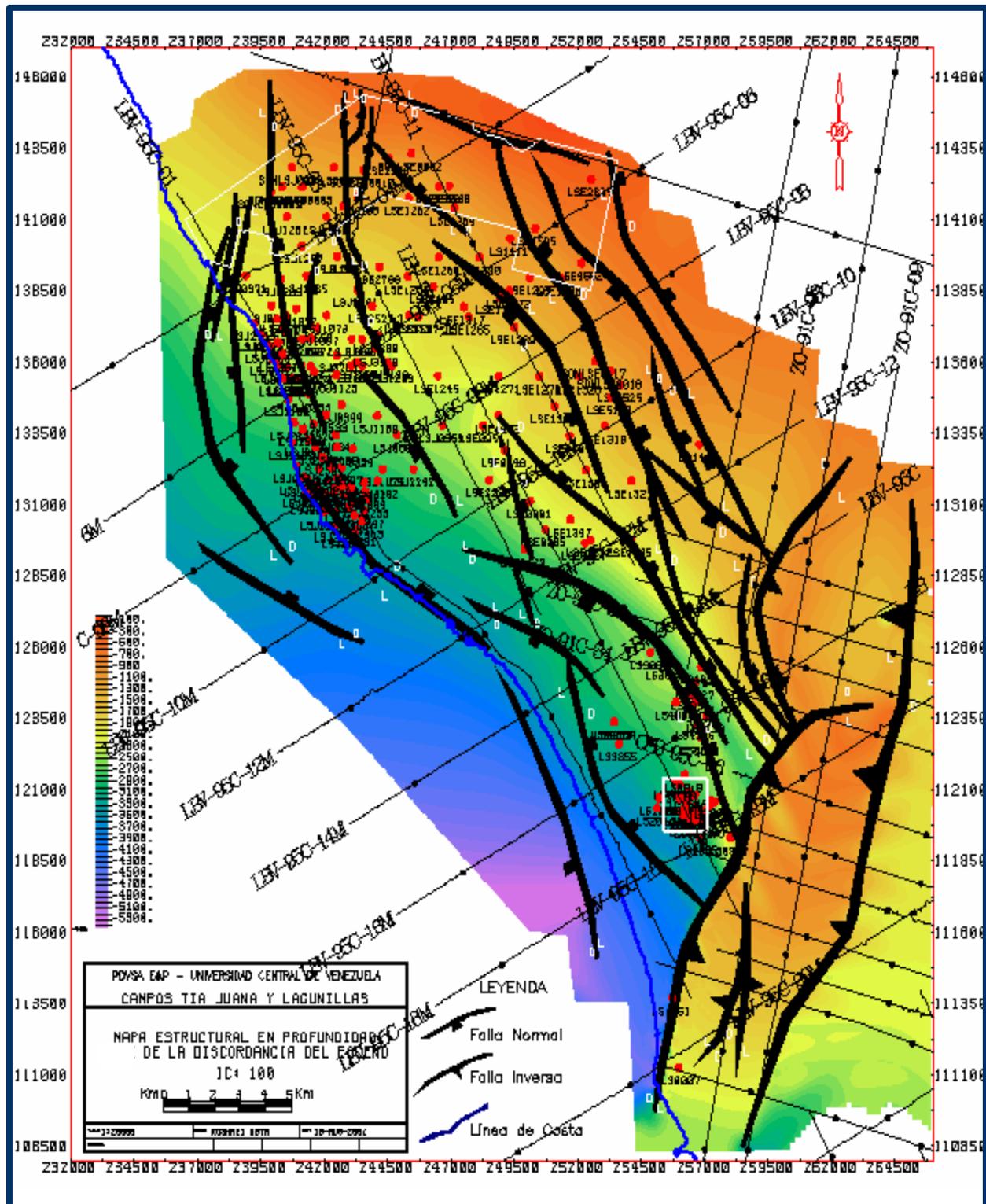


FIGURA 6.2 Mapa estructural en profundidad de la discordancia del Eoceno, resaltando áreas de mayor y menor profundidad según la escala de color.

### ***6.1.2 Mapa Estructural en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior.***

Este mapa muestra semejanza y concordancia con la estructura infrayacente correspondiente a la discordancia del Eoceno, sin embargo, desaparece el rasgo estructural de la falla Pueblo Viejo, dando paso al grupo de fallas normales descritas anteriormente, lo que indica que corresponde al sistema más antiguo. Estas fallas presentan similitud en rumbo, debido a un régimen tectónico extensivo con dirección NNO-SSE y NO-SE en los campos Lagunillas y Tía Juana (Fig. 6.3 y 6.4).

Este mapa tiene coincidencia con el mapa de la discordancia del Eoceno en cuanto al patrón de fallas normales, ya que se presenta en el mapa estructural fallas paralelas a la dirección de la estructura, fallas de gran extensión y con buzamientos NE y SO. Para este nivel los saltos de fallas se mantienen en aproximadamente 50 a 100 pies.

También estas fallas con gran extensión de dirección NNO – NO del campo atraviesan toda el área, indicando continuidad del marco estructural obtenidos para ambos campos.

Las fallas inversas de pequeña extensión, observadas en el 3D explicadas en el mapa estructural de la discordancia del Eoceno, conservan las mismas características para este nivel.

En este mapa se puede notar una profundización al SO y Oeste del tope del Miembro Lagunillas Inferior. El límite de esta secuencia se encuentra al NE del de los campos, ocasionado por un alto estructural que impidió el depósito de esta unidad.

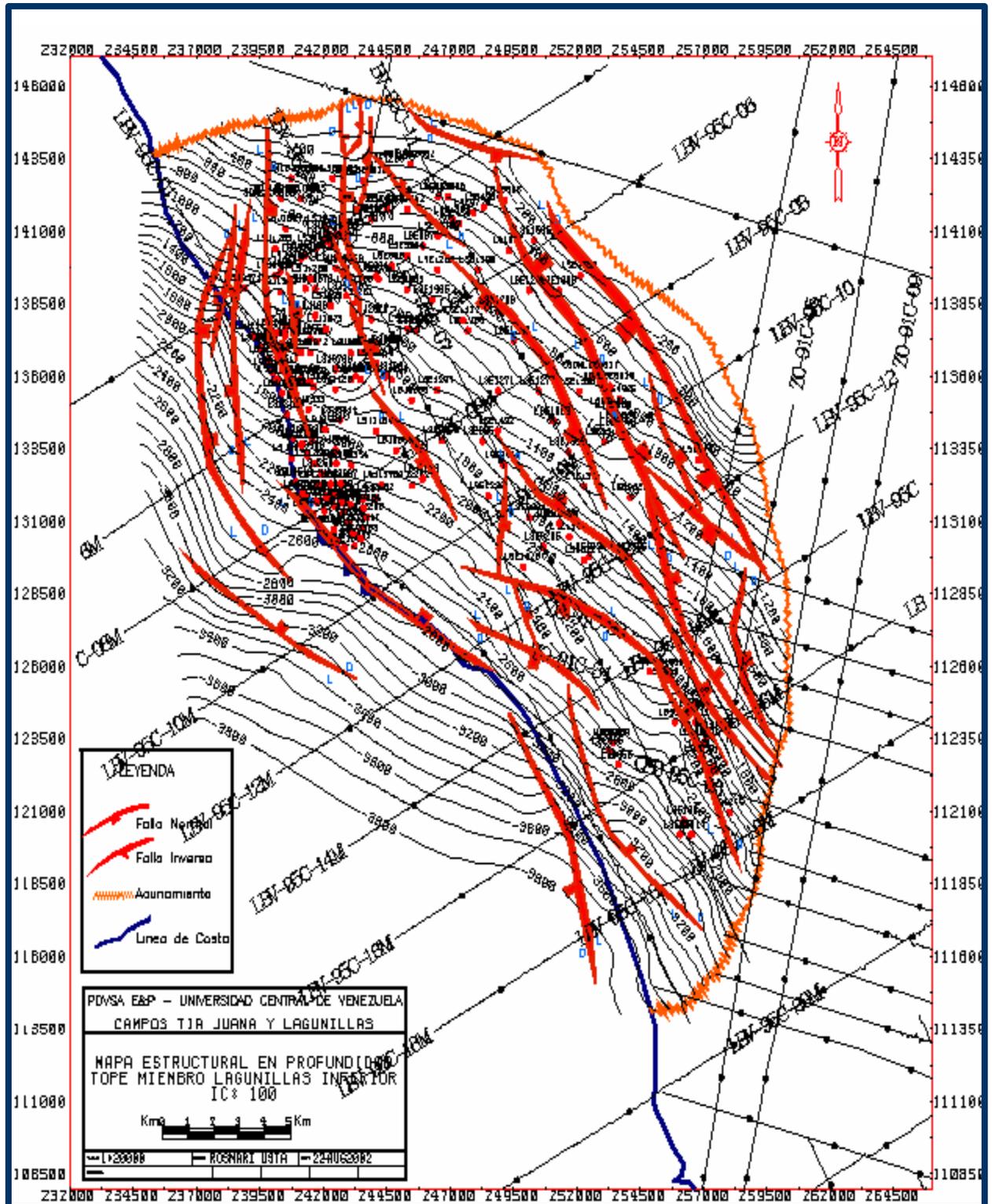


FIGURA 6.3 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior generado a partir del programa Zmap Plus™

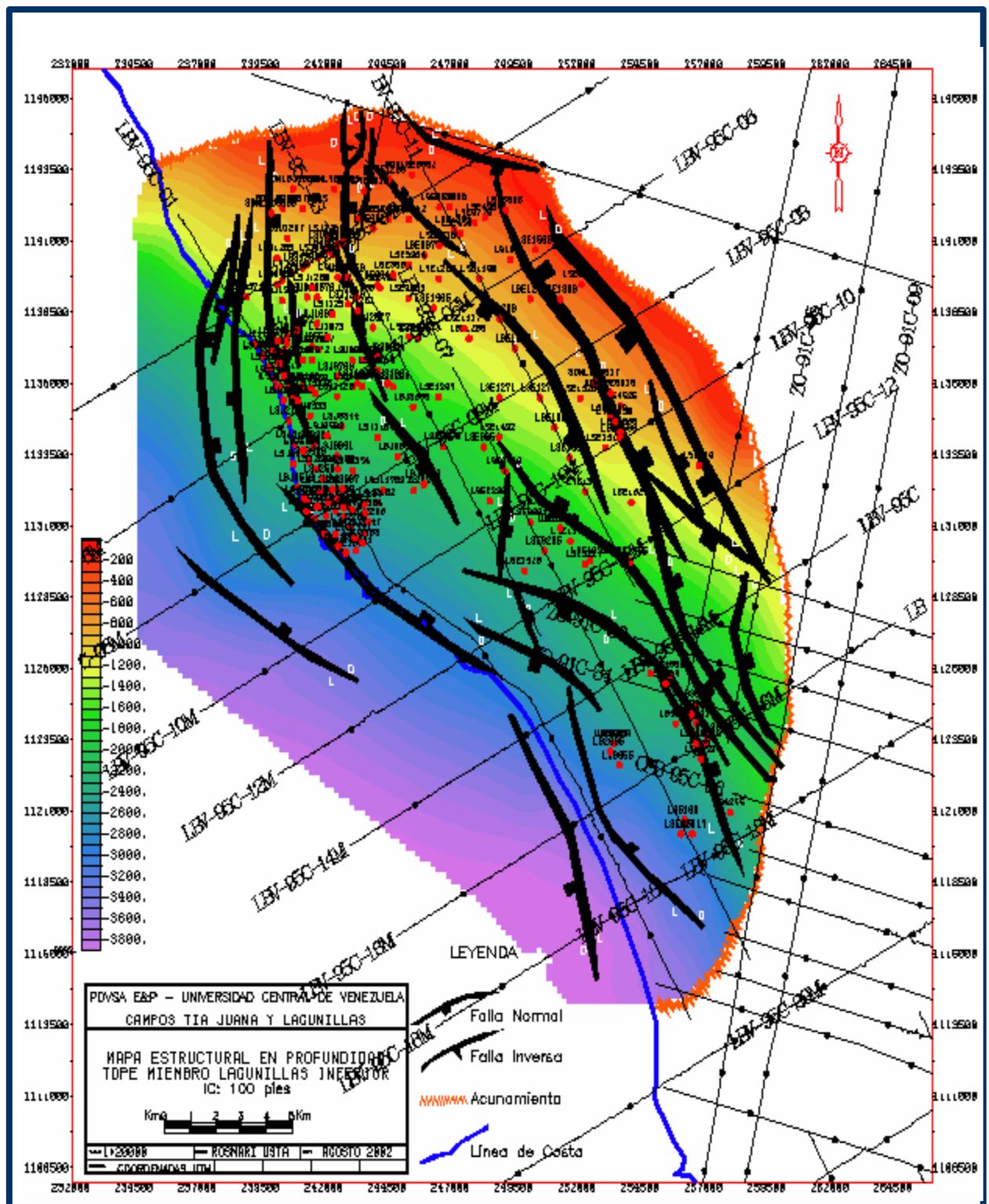


FIGURA 6.4 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Lagunillas Inferior, resaltando áreas de mayor y menor profundidad según la escala de color.

### ***6.1.3 Mapa Estructural en profundidad al tope del Miembro Laguna***

Este mapa estructural en profundidad del Miembro Laguna (Fig. 6.5) muestra cierta correspondencia, con los dos mapas anteriores con respecto a los sistemas de fallamientos principales, conformado de forma similar por un fallamiento debido a un régimen tectónico extensivo con dirección NNO – NO para ambos campos. Estas fallas de igual manera son de gran extensión atravesando ambos campos. Algunas de las fallas, especialmente al Nor-oeste del campo, tienen dirección NNE.

Estas fallas se presentan paralelas a la dirección de la estructura (NO-SE), con buzamientos NE y SO. Para este nivel los saltos de fallas se mantienen entre 50 a 100 pies.

Se observa que las dos fallas interpretada en el cubo sísmico 3D continúan para este miembro de interés, con las mismas características que se explicó anteriormente, recordando que estas fallas se generan a partir de eventos tectónicos compresivos.

En este mapa se puede notar la profundización hacia el SO y Oeste del Lago de Maracaibo del tope del Miembro Laguna. Este límite de esta secuencia se encuentra al NE de los campos, ocasionado el acuñaamiento de esta secuencia (Fig. 6.6).

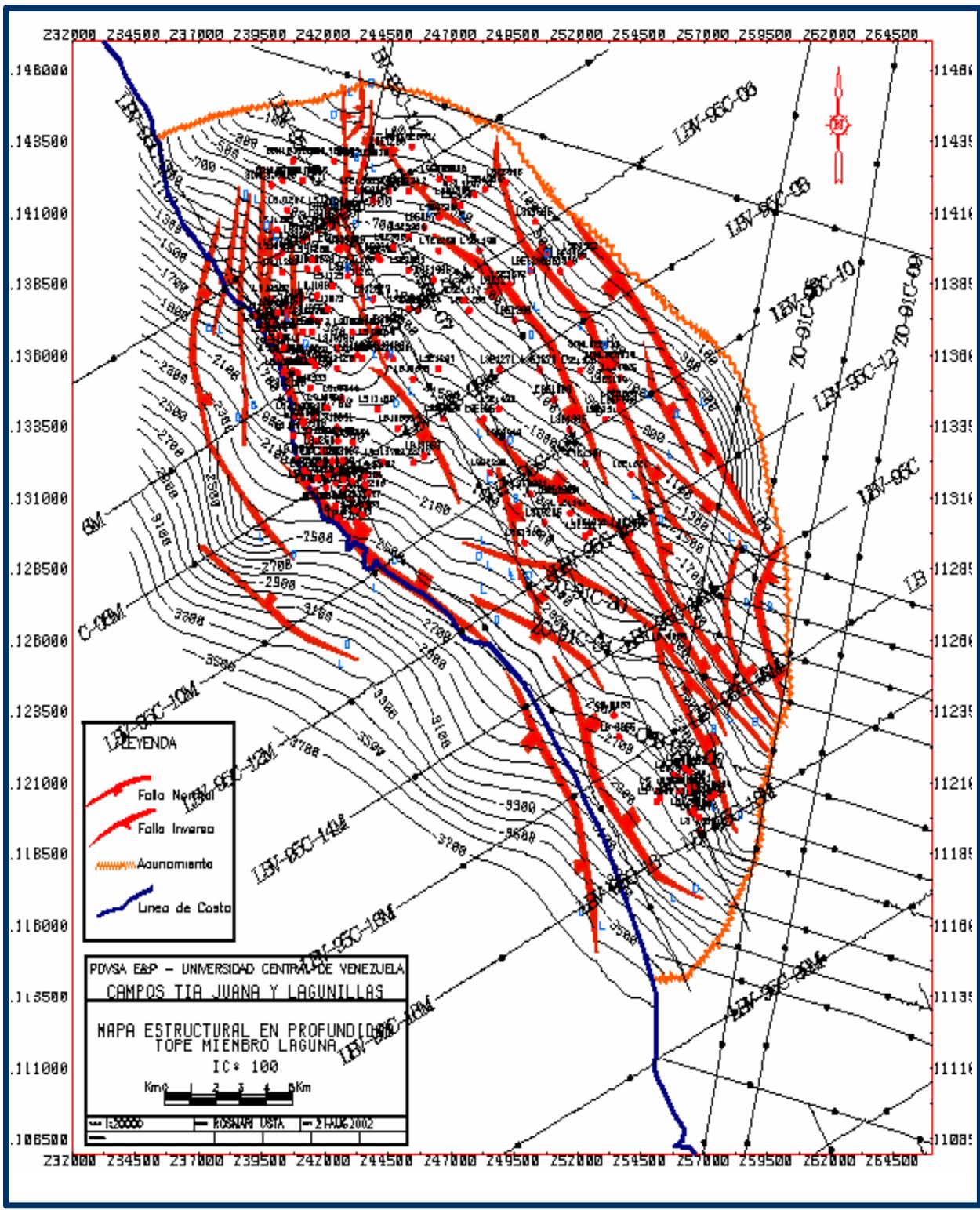


FIGURA 6.5 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Laguna generado a partir del programa Zmap Plus™



#### ***6.1.4 Mapa Estructural en profundidad al tope del Miembro Bachaquero***

Nuevamente se presenta un mapa, con concordancia respecto a los demás mapas analizados. Se tiene igualmente un sistema de fallamiento debido a un régimen tectónico extensivo, predominando su rumbo al NNO-SSE y NO-SE con buzamiento NO y NE respectivamente.

De acuerdo a los contornos en profundidad indican que el buzamiento regional es hacia el SW. Al igual que los demás mapas se observa continuidad hacia el lago de Maracaibo, la diferencia es que para este nivel se interpretó una falla normal en el lago de Maracaibo de dirección NNO con buzamiento SSO de poca extensión que intercepta a la falla de dirección NO y buzamiento NE, presente en los anteriores niveles.

Para este nivel no se tienen fallas inversas originadas por régimen compresivo, como si se observa en los mapas anteriores.

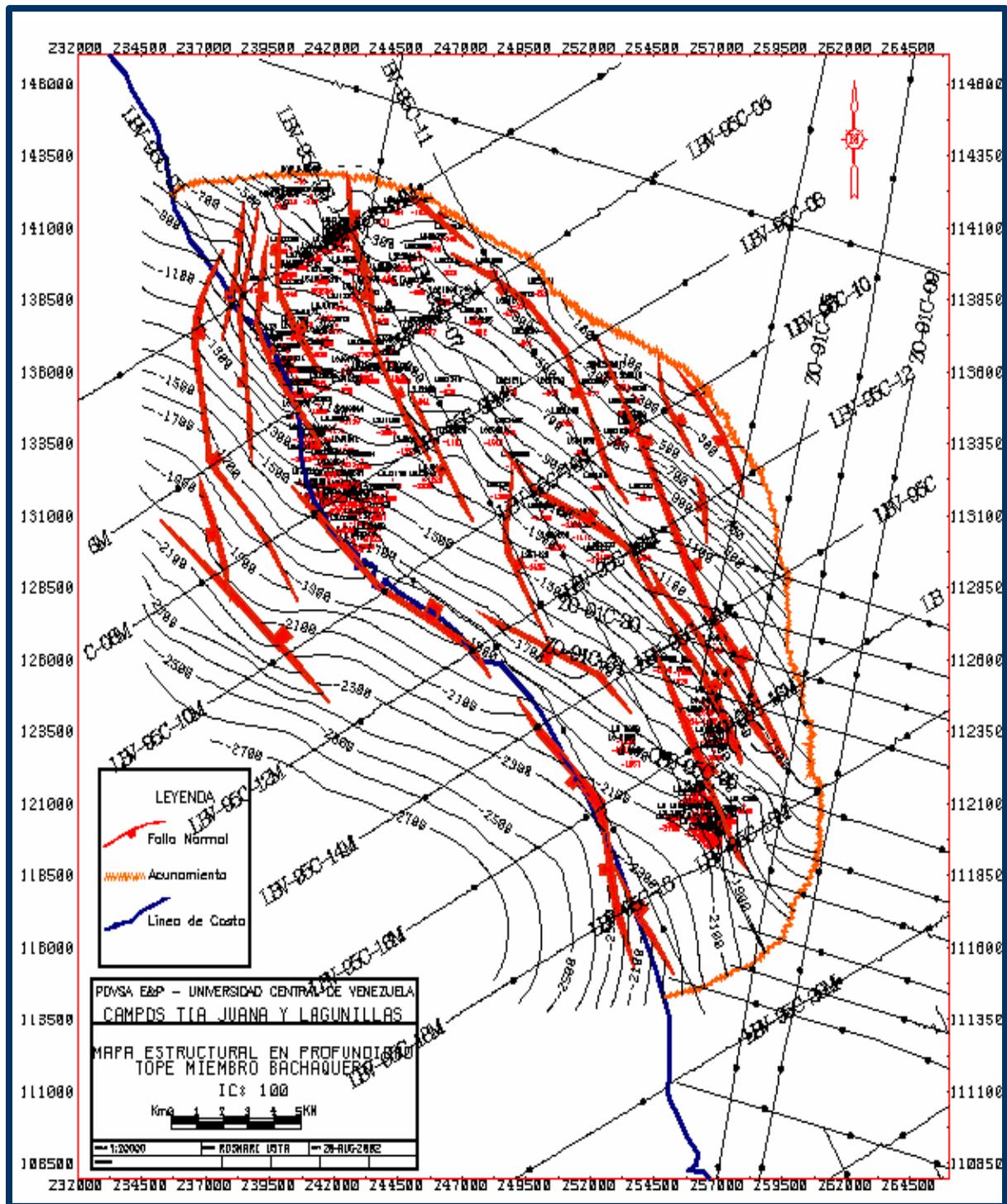


FIGURA 6.7 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Bachaquero generado a partir del programa Zmap Plus<sup>TM</sup>

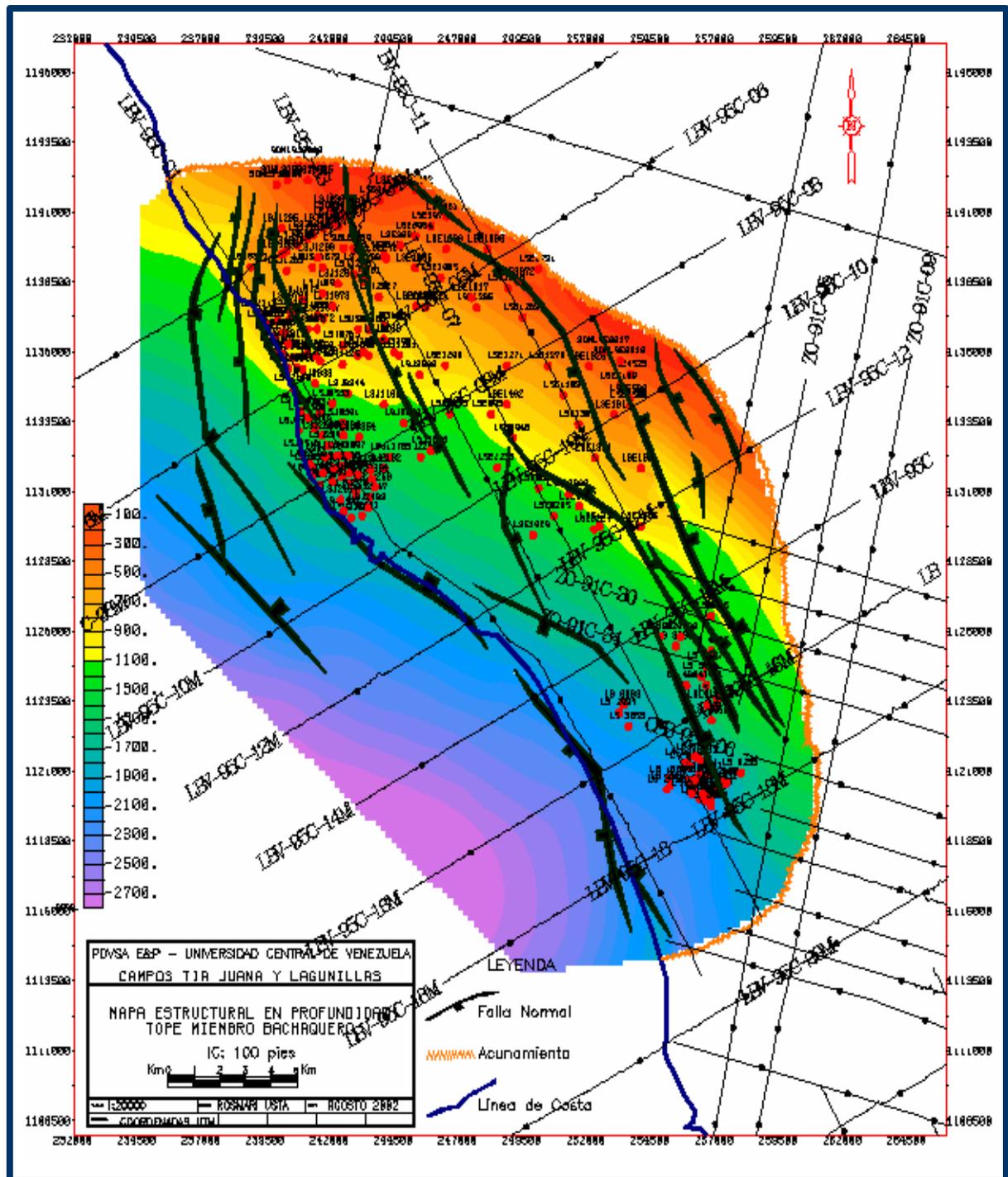


FIGURA 6.8 Mapa estructural en profundidad al tope del Miembro Bachaquero, resultando áreas de mayor y menor profundidad según la escala de color.

## **6.2 Descripción y comparación entre Mapas Estructurales Oficiales y Mapas Estructurales obtenidos de la información sísmica al tope del Miembro Lagunillas Inferior de los campos Tía Juana y Lagunillas.**

En este punto, se realizó la comparación de los mapas estructurales oficiales de los campos Costanero Bolívar, Tía Juana y Lagunillas, al tope del miembro Lagunillas Inferior con los mapas obtenidos como resultados de la interpretación sísmica estructural a partir de líneas sísmicas 2D, para el mismo tope de interés. Dicha comparación se realizó para este tope, debido a que sólo se tenía información de éste en mapas oficiales.

La diferencia que resalta este punto, es que cada uno de los mapas oficiales que se recopiló de la Unidad de Explotación Tierra Este Pesado corresponden a un solo campo específico, en este caso, campo Tía Juana y campo Lagunillas, mientras que, el mapa estructural del Miembro Lagunillas Inferior obtenido como resultado de la interpretación sísmica estructural 2D se presenta como un mapa que comprende ambos campos, esto último es considerado como un aporte importante que se le está dando a dicha unidad obteniendo análisis mas regional permitiendo tener una mayor continuidad en el marco estructural.

### ***6.2.1 Descripción Mapa Estructural Oficial del Campo Lagunillas al Tope del Miembro Lagunillas Inferior***

Como se observa en la Figura 6.9, el Campo Lagunillas esta delimitado entre la coordenadas: ***N 1.110.000 – 1.128.000 ; E 247.000 – 259.000***. Se tiene un total de 10 fallas normales generadas a partir de régimen extensivos, donde cuatro (4) fallas tienen rumbo NNO, dos (2) con dirección NW, tres (3) fallas con dirección NE y una (1) falla en dirección NNE.

Se dividió el mapa en cuatro bloques para una descripción más precisa, donde se encontró que en el bloque superior izquierdo se tienen tres (3) fallas con dirección NNO y de 3Km; 7Km y 10Km de extensión, dos (2) de ellas en la región oeste (mas a la izquierda) del bloque (cercana a la línea de costa) tienen buzamientos al este, la tercera falla que representa la de mas extensión (mas a la derecha) del bloque tiene buzamiento al SO. Estas fallas encierran un bloque deprimido en el cual encontramos dos (2) fallas con dirección NO de 1.8Km y 1.6Km de extensión, la primera la mas cercana a la línea de costa tiene buzamiento NE y la segunda falla que esta mas cercana a la falla de mayor extensión tiene buzamiento SO (Fig. 6.9).

Existen además dos (2) fallas, en direcciones EO y NNE, ambas de 2Km de extensión aproximadamente las cuales interceptan a la falla de dirección NNO y la de 10Km de extensión ubicada en la región este del bloque, formando un pequeño bloque levantado. Una tercera falla que intercepta y que va casi paralela a la falla de mayor extensión del mapa (región sur-oeste del bloque superior derecho) de igual rumbo y buzamiento, con una pequeña extensión de 1.7Km y una última falla correspondiente a este bloque que intercepta con la falla antes mencionada con rumbo NNE , buzamiento NO y de 1.5Km de extensión. En el bloque inferior derecho se observa una falla en dirección NNE, falla de 7Km de extensión, la cual llega hasta el bloque superior derecho con buzamiento NE. En el bloque inferior izquierdo corresponde al lago de Maracaibo no se observan fallas (Fig. 6.9).

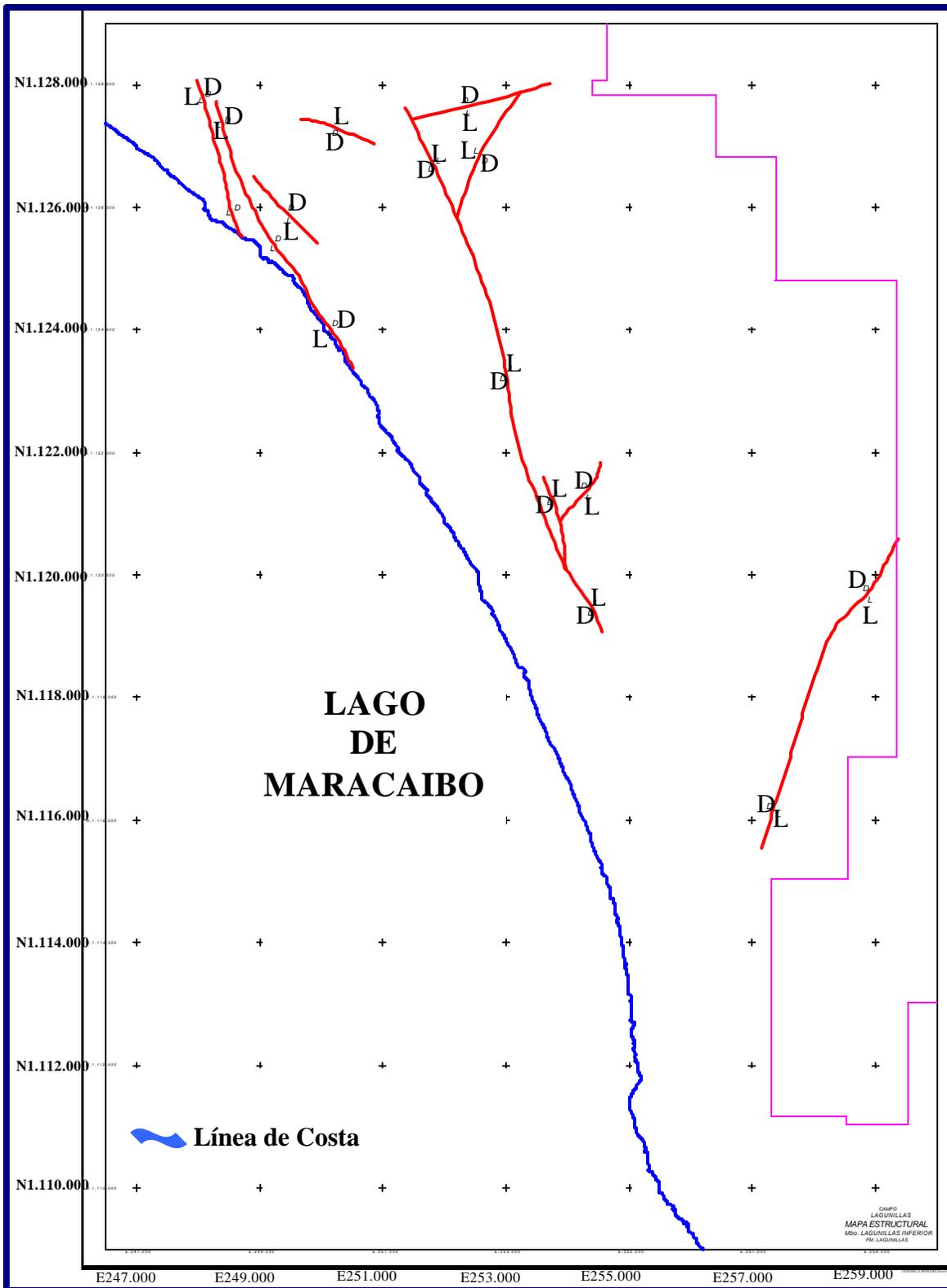


FIGURA 6.9 Mapa Estructural Oficial del Campo Lagunillas al tope del

Miembro Lagunillas Inferior

### ***6.2.2 Descripción Mapa Estructural del Campo Lagunillas al Tope del Miembro Lagunillas Inferior, obtenido a partir de información sísmica.***

Como se observa en la Figura 6.10, el campo Lagunillas corresponde al recuadro que es resaltado en color azul. Se tiene un total de 10 fallas normales con direcciones promedio NNO y NO.

De igual manera se dividió el mapa en cuatro bloques, en el bloque superior izquierdo se tienen seis (6) fallas (falla A, B, C, E, F Y G) de extensiones 2.5Km; 5km y 10Km aproximadamente, con dirección NNO – NO, las fallas C y E de 10Km de extensión que se extienden desde este bloque hasta los bloques inferiores izquierdo y derecho respectivamente. Ambas fallas de dirección NNO van paralelas a la línea de costa, la falla que esta al oeste de la línea de costa tienen buzamiento SO y la que está al este de la línea de costa buza al SE. En la parte superior de este bloque se observa la falla A en dirección NO con buzamiento SW. También se observa la falla B y G de dirección NO con buzamiento NE y SO respectivamente, ambas de 10Km de extensión, se observa la continuidad de estas fallas al campo Tía Juana, solo se aprecia de estas fallas en el campo Lagunillas 2Km y 7.5Km de extensión respectivamente. También se observa en la parte central de este bloque, la falla F que tiene un rumbo NNO, buzamiento ENE y de 2.5Km de extensión. En los bloques inferiores izquierdo y derecho no se observan fallas sino que se tiene la continuidad de las fallas C y E hacia el sur.

En el bloque superior derecho se observan cinco (5) fallas con rumbo NNO, las fallas H, I J y K con buzamientos ENE estas ubicadas en la parte superior derecha del bloque y de 7.5Km; 15Km; 12Km y 6Km de extensión, estas fallas tienen continuidad al campo Tía Juana; más a la parte central del bloque se tienen la falla G de 10Km de extensión con buzamiento SOS (Fig. 6.10).

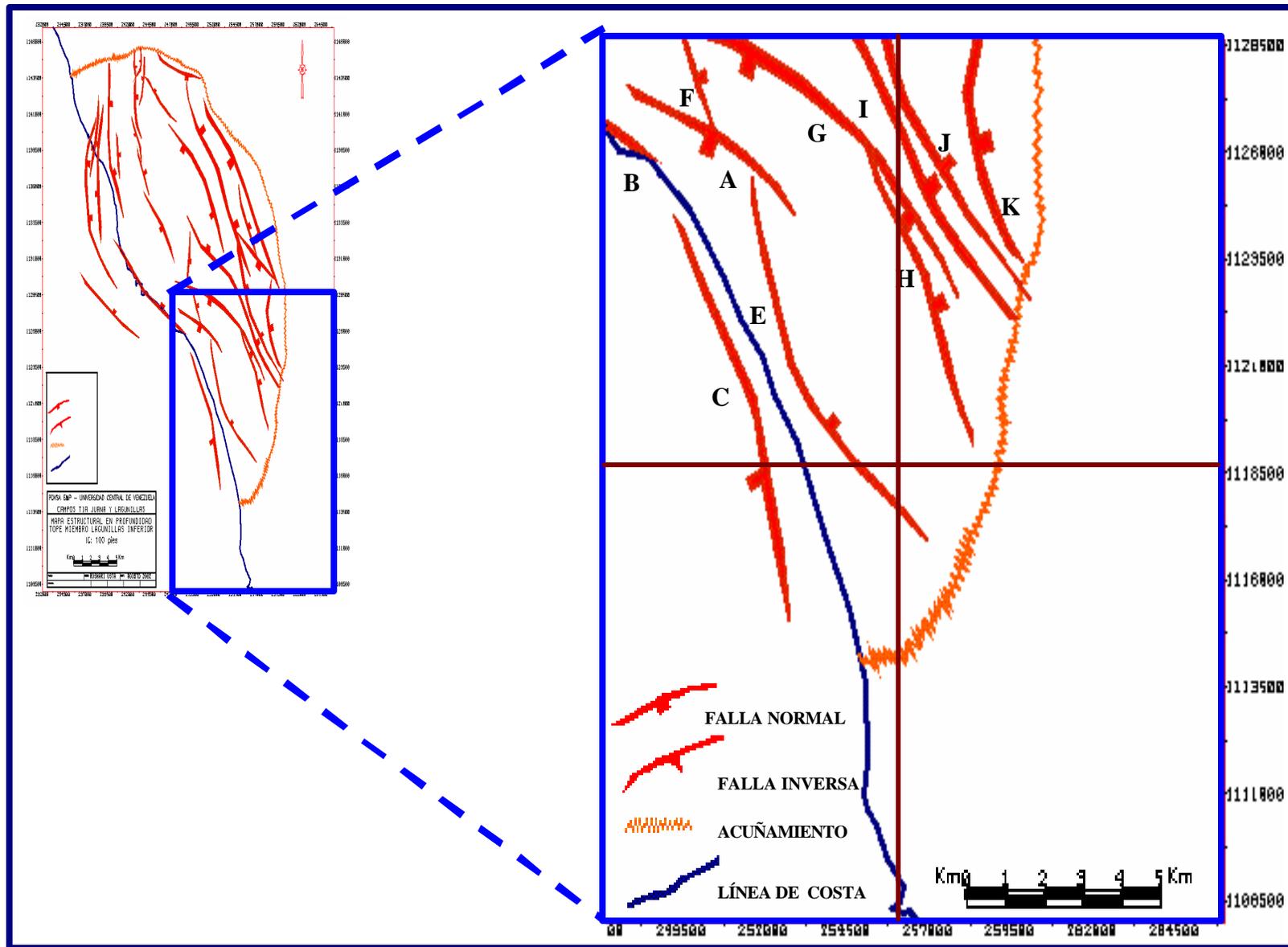


FIGURA 6.10 Mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica resaltando el campo Lagunillas, al tope del Miembro Lagunillas Inferior

### ***6.2.3 Comparación entre el mapa oficial del Campo Lagunillas y el mapa estructural de información sísmica.***

Comparando ambos mapas se pudo observar que sólo tres (3) fallas coincidieron en dirección, posición y buzamiento (Falla A, B y G), dando correspondencia entre la interpretación sísmica y la información de pozos (Fig. 6.11).

Es importante resaltar que las fallas C, E, F, H, I, J y K, son aporte de la interpretación sísmica en el campo Lagunillas, ya que estas fallas no se tienen en el mapa oficial, las fallas F, G, H, I, J y K se extienden al campo Tía Juana.(Fig. 6.11 ).

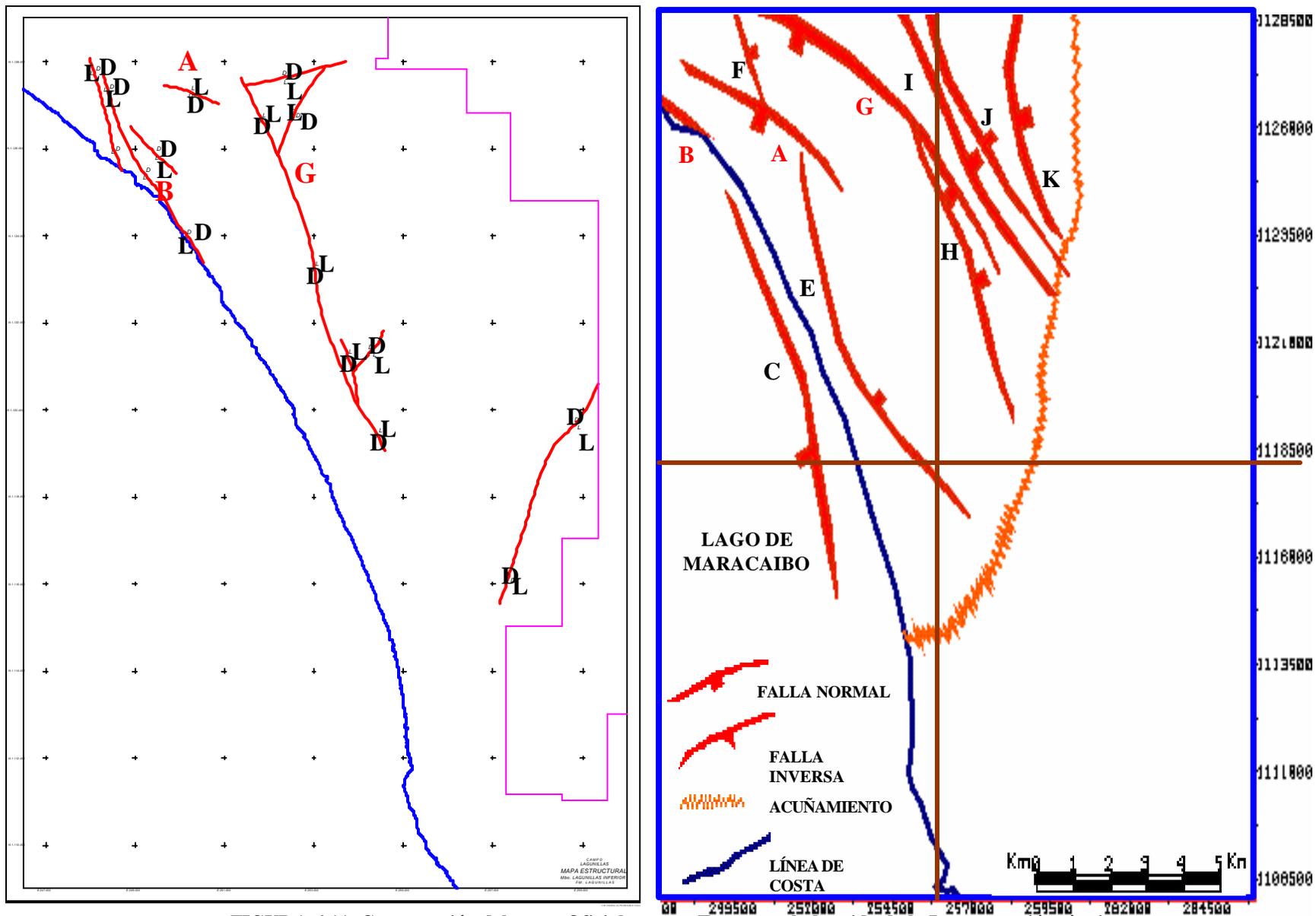


FIGURA 6.11 Comparación del mapa Oficial y mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica

al tope del Miembro Lagunillas Inferior, la falla A, B y G (color rojo en ambos mapas) son las fallas que coinciden en posición, dirección y buzamiento

#### ***6.2.4 Descripción Mapa estructural Oficial del Campo Tía Juana al Tope del Miembro Lagunillas Inferior.***

Como se observa en la Figura 6.10, el Campo Tía Juana se encuentra limitado entre la coordenadas: *N 1.129.000 – 1.141.000 ; E 235.000 – 255.000*; se tiene un total de 40 fallas normales originadas por régimen extensivos.

Se dividió el mapa en dos bloques para una descripción más específica, se observa en la región oeste del bloque izquierdo (cercanas a la línea de costa) una serie de dieciséis (16) fallas de variada extensión, de las cuales catorce fallas tienen dirección NNO (falla A, B, C, D, F, G, H, K, L, J, M, N, AA y BB), mientras que las fallas FF y E tienen dirección NE, de éstas diez (10) fallas con buzamiento ENE (falla A, D, F, H, M, N, L, J, AA y BB) mientras que las otras cuatro (4) buzando al OSO (falla B, C, G, y K) . La falla de mayor extensión en este bloque es la falla J de 12Km el resto de las fallas oscilan entre 2.5Km a 7.5Km.

En el bloque derecho, se observa veinte (20) fallas de variadas extensión y dirección, en la región centro occidental se tienen siete (7) fallas con dirección NNO (falla I, O, R, Y, X, Z y GG), cuatro (4) de estas con buzamiento OSO (falla O, R, I) y las otras tres (3) con buzamiento ENE (falla Y, X y Z). Se puede observar también dos (2) fallas con dirección NNE (falla S y HH) con buzamiento ONO y ESE respectivamente. En la región este del bloque se observa ocho (8) fallas con rumbo NNO – NNE. Se observa en este bloque derecho la fallas Q y T de 12Km y 15Km de extensión con dirección NNW y dirección NNE respectivamente buzando una al ENE y la otra al OSO. En el extremo sur este del bloque se encuentran tres (3) fallas con dirección NNW dos de ellas buzando al OSO y la otra buza al ENE. Por último al este del bloque se observa la falla U de 5Km de extensión que intercepta con la falla T de 15Km de extensión de este bloque con un rumbo NNE y un buzamiento ESE (Fig.6.12).

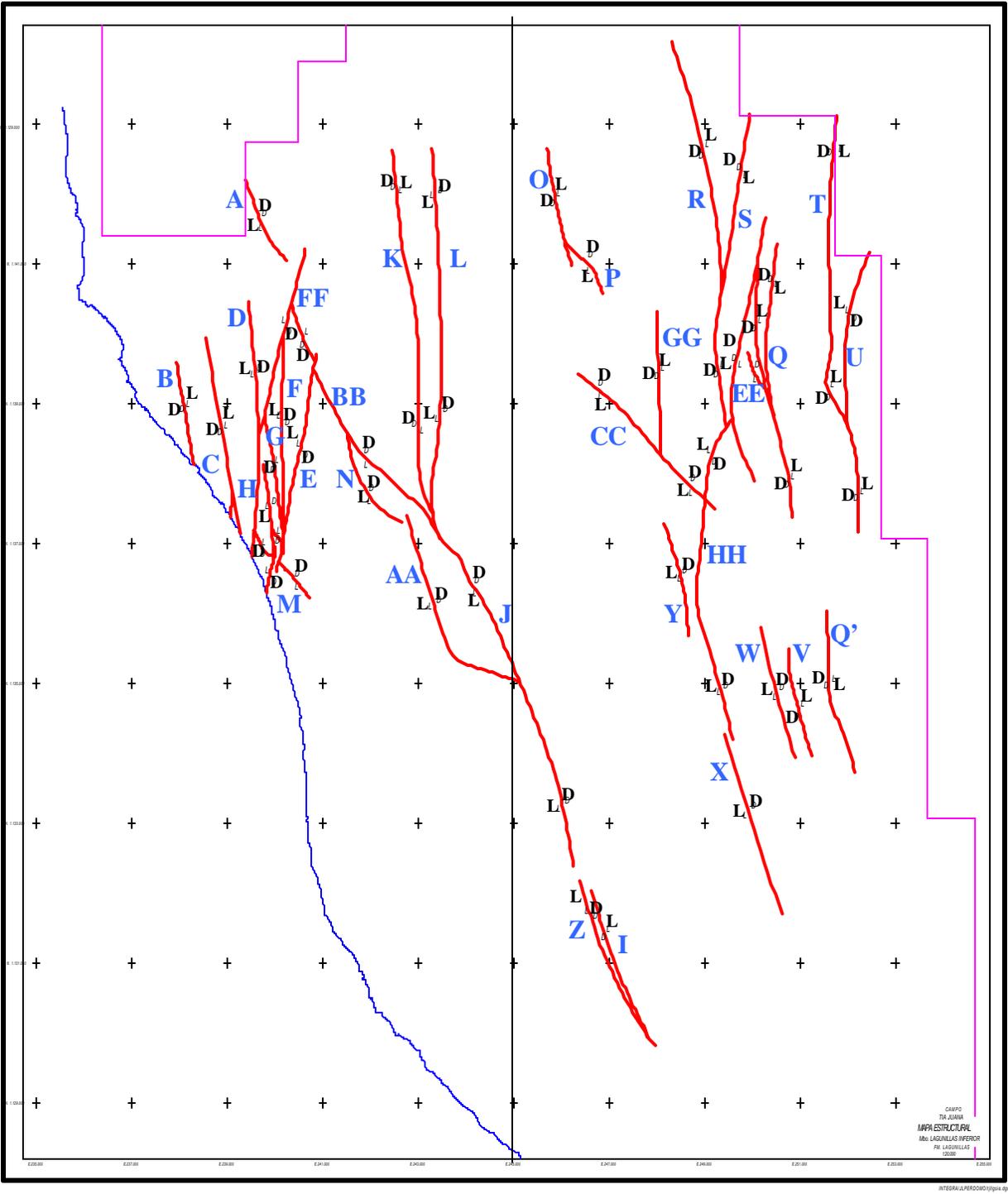


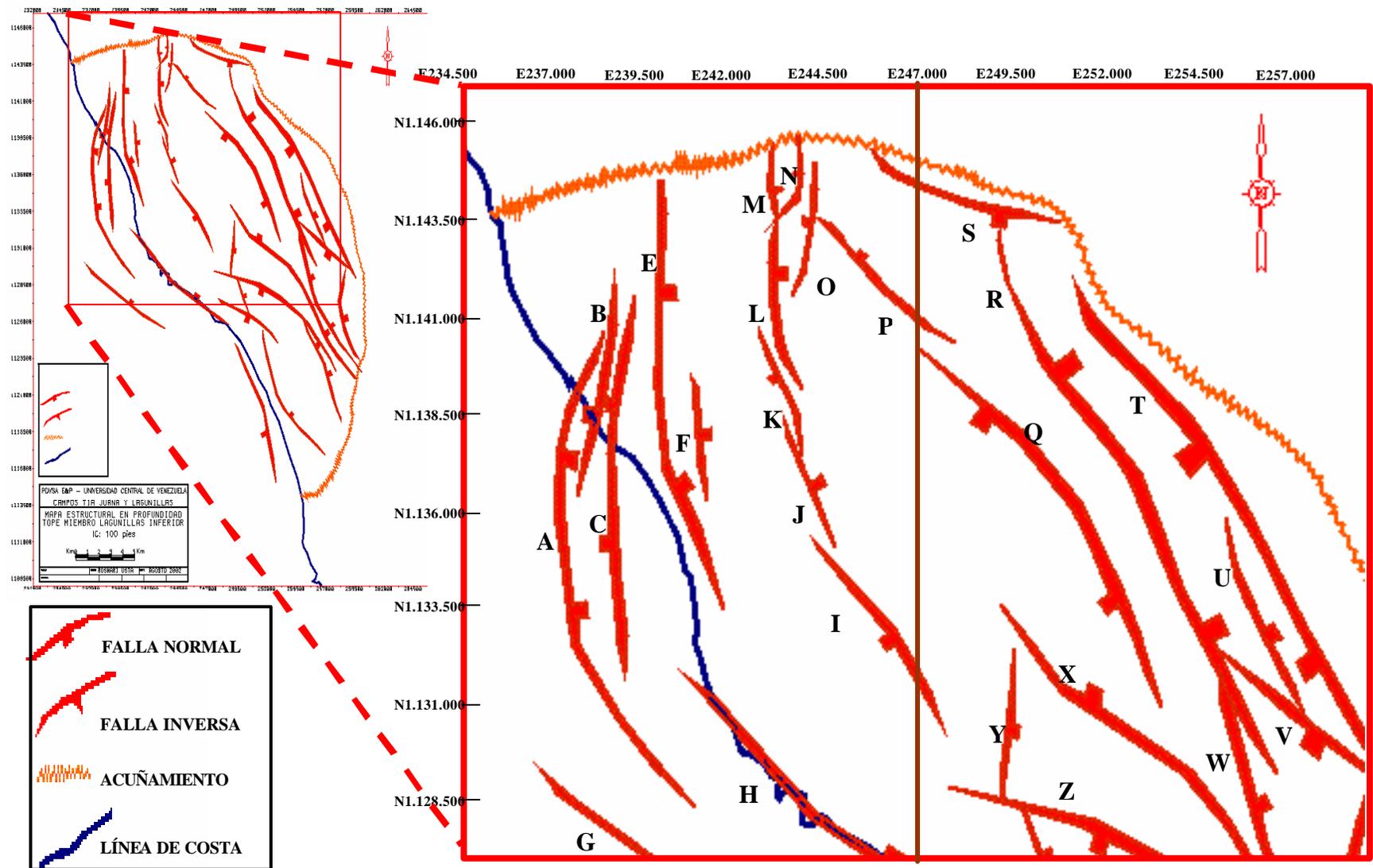
FIGURA 6.12 Mapa Estructural Oficial del Campo Tía Juana al tope del Miembro Lagunillas Inferior

### ***6.2.5 Descripción Mapa Estructural del Campo Tía Juana al Tope del Miembro Lagunillas Inferior, obtenido a partir de información sísmica.***

Como se observa en la Figura 6.13 el área de interés es resaltado con un recuadro de color rojo, se tiene un total de veinticinco (25) fallas propias del campo Tía Juana originadas por régimen extensivo (falla normal), y dos (2) fallas en su parte mas superior del mapa originadas por régimen compresivo (falla inversa), cinco(5) de estas fallas son continuas al campo Lagunillas (Falla G, H, Z, X y W) de dirección NNO – NO, las fallas G, H, X y W buzanan al ENE y la falla Z buza al OSO. En esta área se observa la falla G de dirección NW y buzamiento NE en el lago de Maracaibo con una extensión de 7Km, sólo 2.5Km corresponde al campo Tía Juana.

De igual manera la anterior se dividió el mapa en 2 bloques en el bloque izquierdo se tiene un total de quince (15) fallas. En la región oeste del bloque del bloque izquierdo se tienen tres (3) fallas con rumbo NNE (Falla A, B y C), fallas de 13Km, 5Km y 9Km de extensión respectivamente que tienen continuidad al lago de Maracaibo y con buzamiento ONO y la que está mas cercana al lago tiene un buzamiento ENE. Mas al este se tienen seis (6) fallas en dirección NNW (Falla F, K, J, I, L y H), estas fallas son relativamente paralelas a la línea de costa, las fallas F, H, J y L buzanan al ENE, mientras que las fallas K e I buzanan al OSO, estas fallas varían de 3Km a 5Km de extensión. La falla E de dirección NNE y buzamiento ONO (la mas cercana a la línea de costa) tiene una extensión de 10Km. En este mismo bloque se observa que la falla H tiene continuidad al campo Lagunillas, esta falla de dirección NW y buzamiento ENE tiene una extensión de 7.5Km, sólo 5Km se aprecia en el campo Tía Juana, esta se encuentra sobre la línea de Costa y por último en la región norte del bloque se tienen dos (2) fallas originadas por régimen compresivo de dirección NNW – NNE con buzamiento ENE y ONO respectivamente, ambas de 2Km de extensión (Fig. 6.13).

En el bloque derecho se tiene una serie de diez (10) fallas originadas por régimen extensivo entre 10Km y 15Km de extensión, con dirección NNO y NO, excepto la falla Y que tiene dirección NNE y buzamiento ONO y 3Km de extensión.. Se observa que la falla S es casi E-O con buzamiento al sur y 5Km de extensión. Las fallas Q, T, V y Z tienen dirección NNW y buzamiento al OSO y las fallas R, U, W y X, tienen direcciones NNW con buzamiento al ENE (Fig. 6.13).



**FIGURA 6.13** Mapa Estructural obtenido de la interpretación sísmica del Campo Tía Juana, resaltando el recuadro de color rojo al tope del Miembro Lagunillas Inferior

### ***6.2.6 Comparación entre el mapa estructural oficial del Campo Tía Juana y el mapa estructural de información sísmica.***

Comparando ambos mapas se observa que la falla C, E, F, K, L, Y, J e I coinciden en dirección, posición, buzamiento, dando correspondencia entre la interpretación sísmica estructural y el mapa oficial.

Se observa que la falla Q del mapa estructural de la interpretación sísmica es resaltada como una sola falla mientras que en el mapa oficial se puede considerar que esta representada en 2 fallas (falla Q y Q'), por lo que se considera como una falla que se representa en el mapa oficial. La falla T se observa en ambos mapas como una falla de gran extensión, al igual que es representada en el mapa oficial. La falla X que se observa en el mapa de la información sísmica coinciden con el mapa oficial, sin embargo, en el mapa derivada de la interpretación sísmica aparece como una falla de mayor extensión y con continuidad al campo Lagunillas, evento que no es resaltado en el mapa oficial (Fig. 6.14).

La falla P en el mapa oficial se observa que intercepta con otra falla de menor extensión y distinto rumbo y buzamiento, mientras que en el mapa derivado de la sísmica se observa como una sola falla con dirección NNO, buzando al ENE y es una falla de mayor extensión (Fig. 6.14).

El resto de las fallas son consideradas como un aporte más de la interpretación sísmica al marco estructural existente, derivado de información de pozos, en el campo Tía Juana, campo Costanero Bolívar.

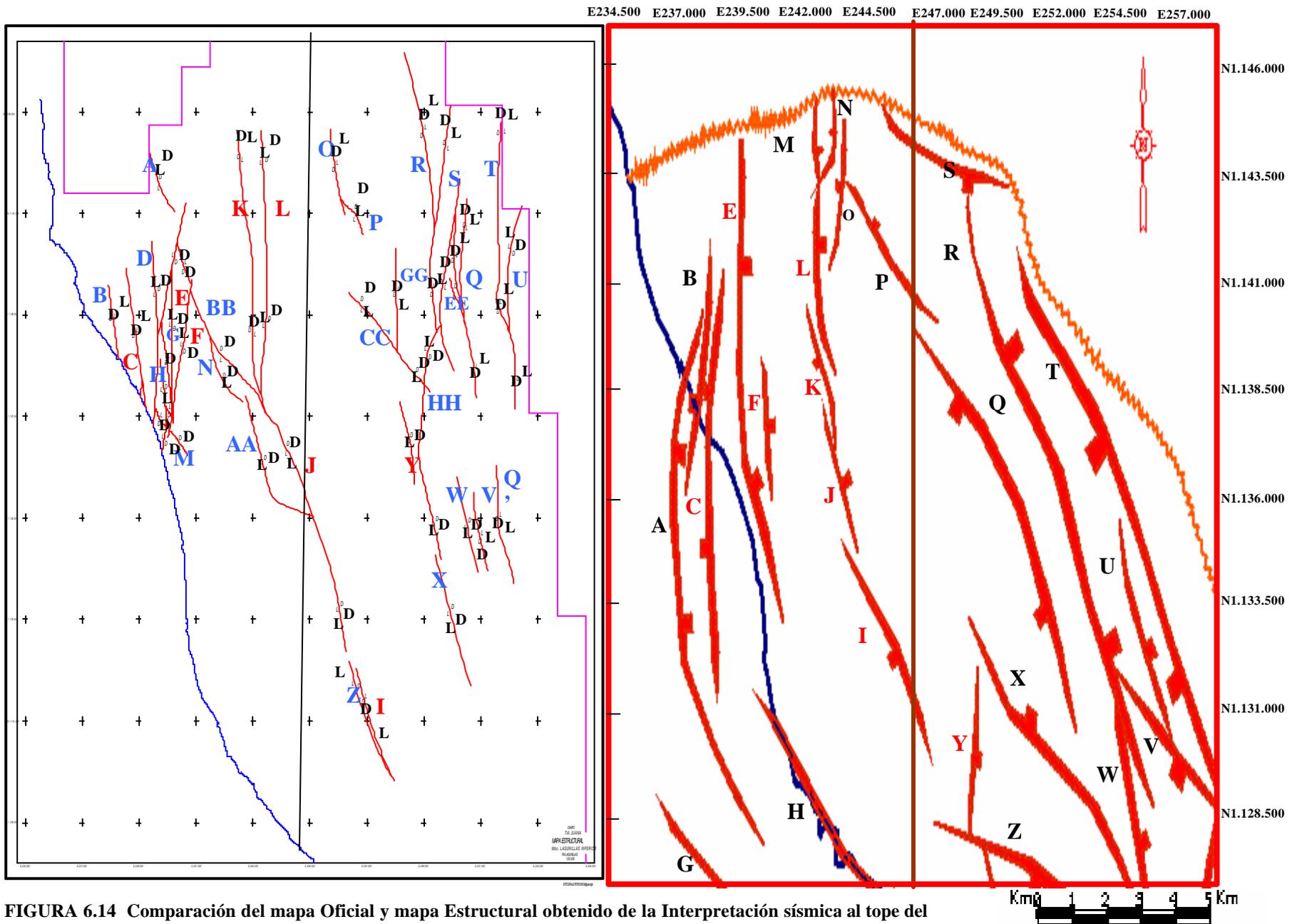


FIGURA 6.14 Comparación del mapa Oficial y mapa Estructural obtenido de la Interpretación sísmica al tope del Miembro Lagunillas Inferior, la falla C, E, F, K, L, J, Y e I son las fallas que coinciden (color rojo en ambos mapas) en posición, dirección y buzamiento

### 6.3 Generación de mapas de arenas.

Los mapas de arenas fueron generados con el programa *ZmapPlus<sup>TM</sup>* a partir de información y evaluación petrofísica que se le realizó a los pozos utilizados en la interpretación. Es importante resaltar que esta evaluación petrofísica que se realizó, están basados en el intervalo de interés (desde la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero).

Los archivos se generaron bajo la plataforma *Geoframe<sup>TM</sup>* y fueron guardados como archivos “.txt”, estos archivos se exportaron al programa *ZmapPlus<sup>TM</sup>* como extensión “.DAT”, los cuales vienen definidos por ocho columnas identificadas como intervalos de interés, tope (ft), base (ft), pozos, espesor total (ft), arena neta (ft), arena neta total (ft) y arena neta petrolífera (ft), luego se procede a contornear y editar los mapas (Apéndice 4).

En la figura 6.15, 6.16, 6.17 y 6.18, se presentan los mapas generados de espesor total, arena neta, arena neta total y arena neta petrolífera respectivamente. Estos mapas permitieron resaltar la distribución de las arenas en los campos Tía Juana y Lagunillas.

La figura 6.15 muestra la distribución de los espesores totales del intervalo de interés (discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero), de acuerdo a la escala se puede observar que las áreas de color marrón más claro corresponden a intervalos entre 700 pies a 1500 pies, mientras que los más oscuros están en un intervalo de espesor de 100 pies a 600 pies, lo que indica que el espesor total para este intervalo aumenta de SO a NE, va desde 1500 pies a 100 pies lo que demuestra el acuñaamiento de los topes obtenidos en la interpretación, como también lo es resaltado en los mapas estructurales.

La figura 6.16 muestra la distribución de los espesores de arena neta, esta corresponden a los pozos que indican la presencia de arena con cualquier tipo de fluidos, se puede observar que al norte y al sur-este se tienen los espesores mayores de arena neta que oscilan entre 700 pies y 900 pies, de acuerdo a la escala corresponden a los amarillos. Cercano a la línea de Costa más al centro, en las zonas oscuras, se puede observar la presencia de capas de 100 pies a 300 pies de espesor.

En la figura 6.17 muestra la distribución de los espesores de arena neta total, este mapa resalta el espesor de la capa de arena, que no contienen ningún tipo de fluido, lo que indica que este espesor es netamente arena. Se puede observar, que al igual que los anteriores, se tienen que al norte y sur-este del área, el espesor de arena neta es de 700 pies a 800 pies, al nor-este el espesor oscila entre 300 pies a 500 pies y al nor-oeste cercana a la línea de costa, los espesores se encuentran entre 100 pies y 300 pies.

En la figura 6.18 muestra la distribución de los espesores de arena neta petrolífera, este mapa es indicativo de las capas con mayor espesor de arena productora, es decir, arena con fluido de hidrocarburo, estos espesores oscilan entre 100 pies y 600 pies. Según la escala muestra que los colores más oscuros corresponden a las capas de menor espesor, se observa que al norte y sur-este del área el espesor varía entre 400 pies y 600 pies, en su mayoría el campo cuenta con espesores entre 200 pies y 300 pies, por último hacia el centro del mapa se puede observar puntos específicos que señalan espesores menores a los 100 pies.

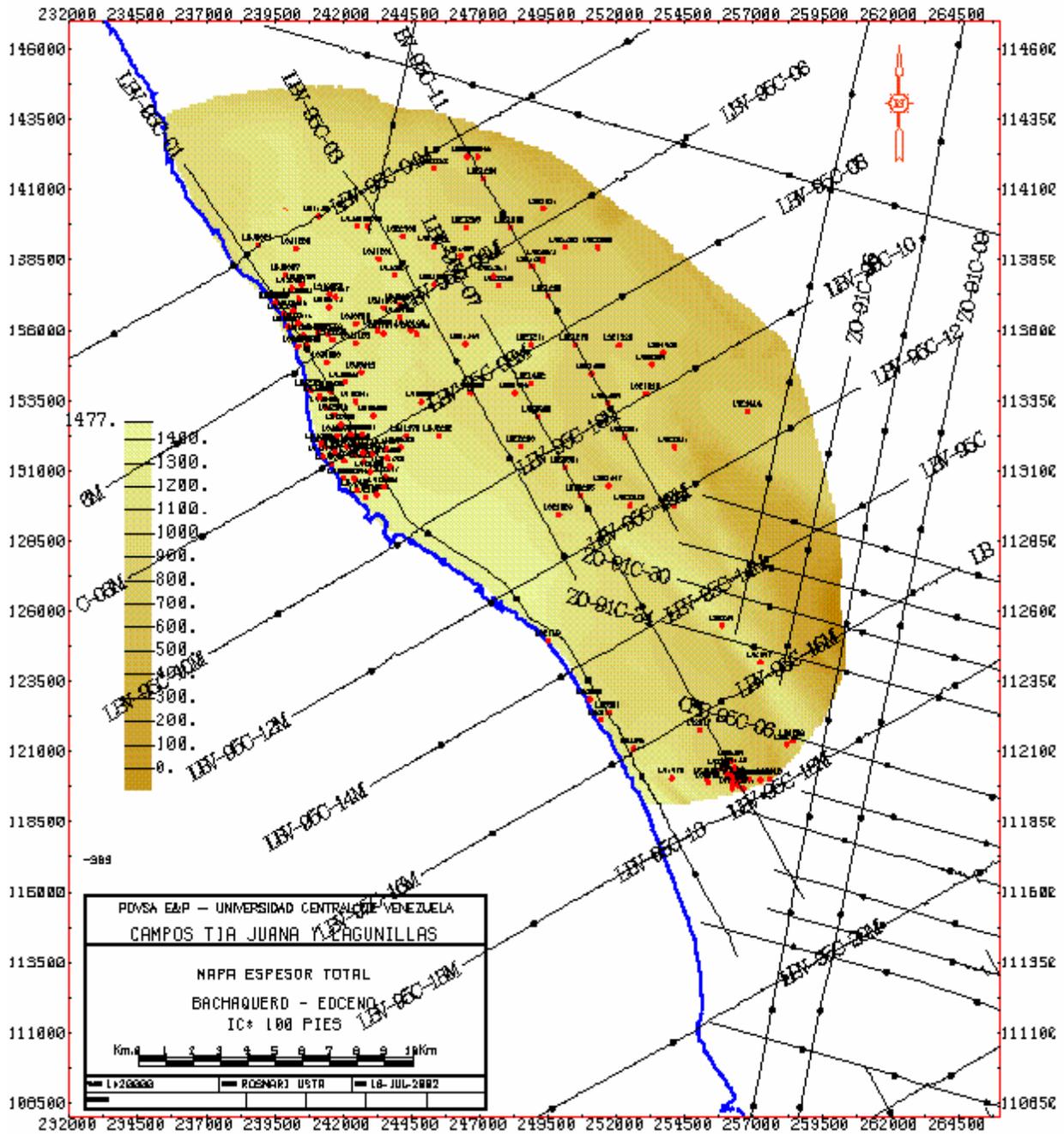


FIGURA 6.15 Mapa de espesor total entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero

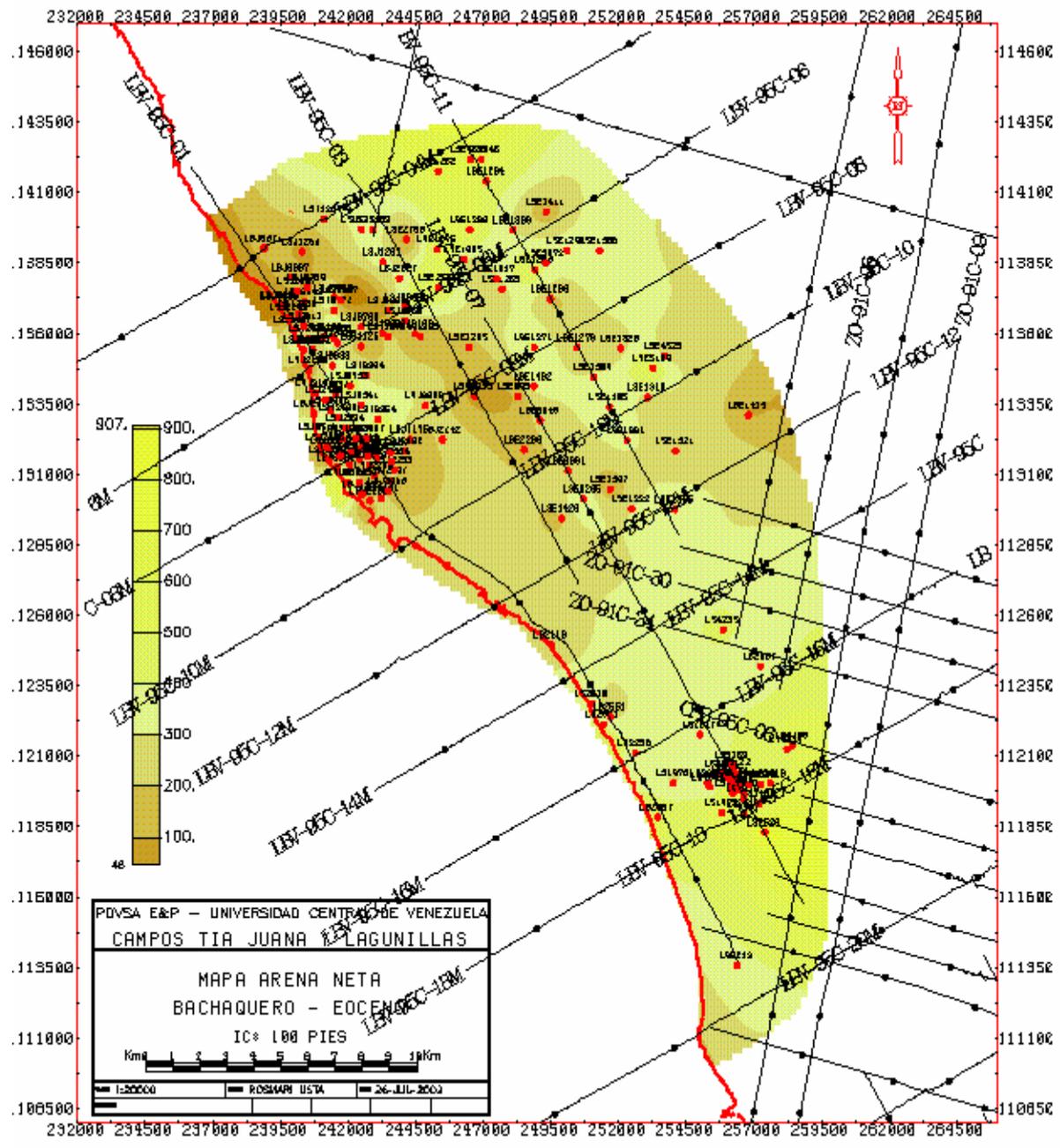


FIGURA 6.16 Mapa de arena neta entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero

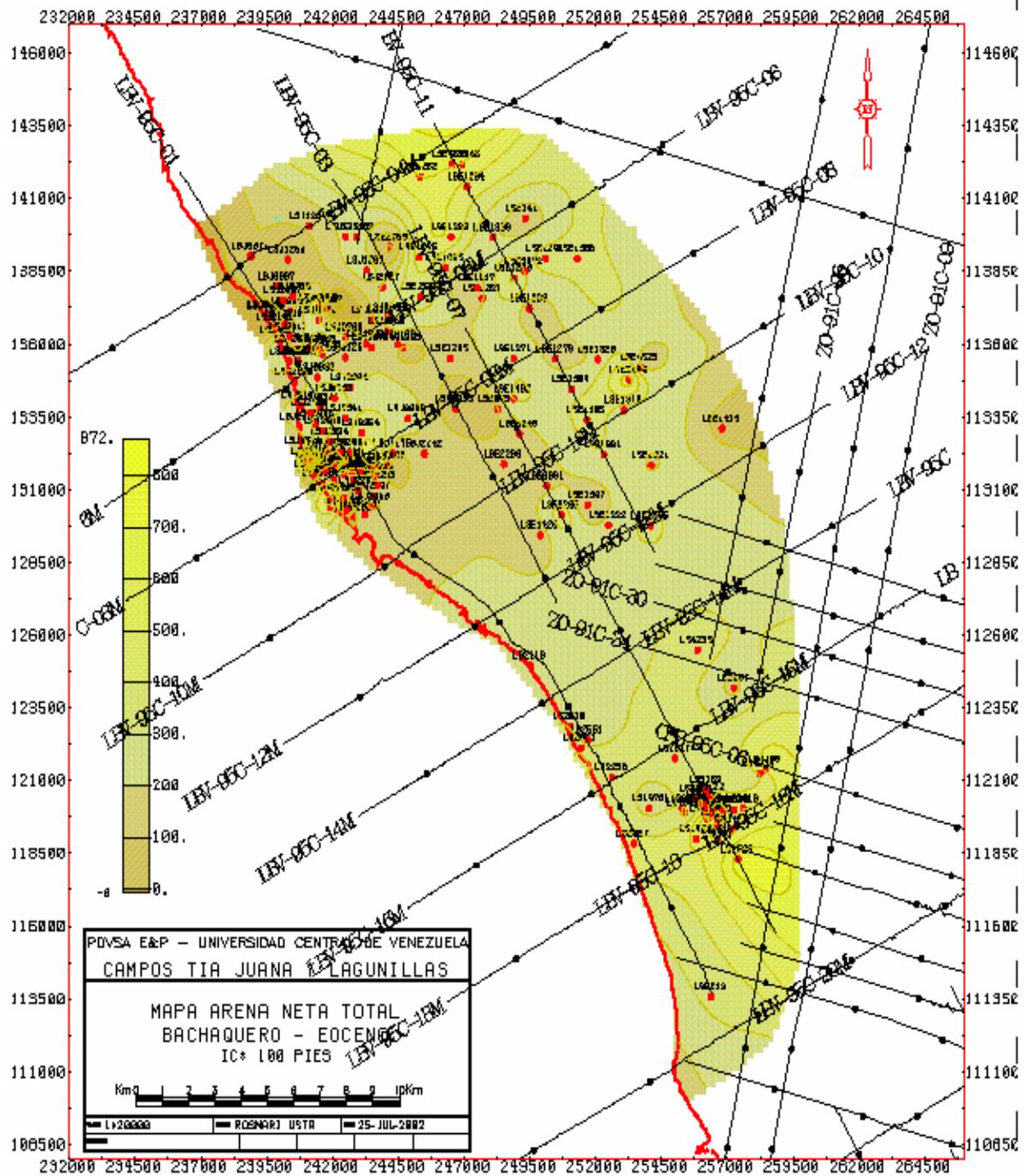
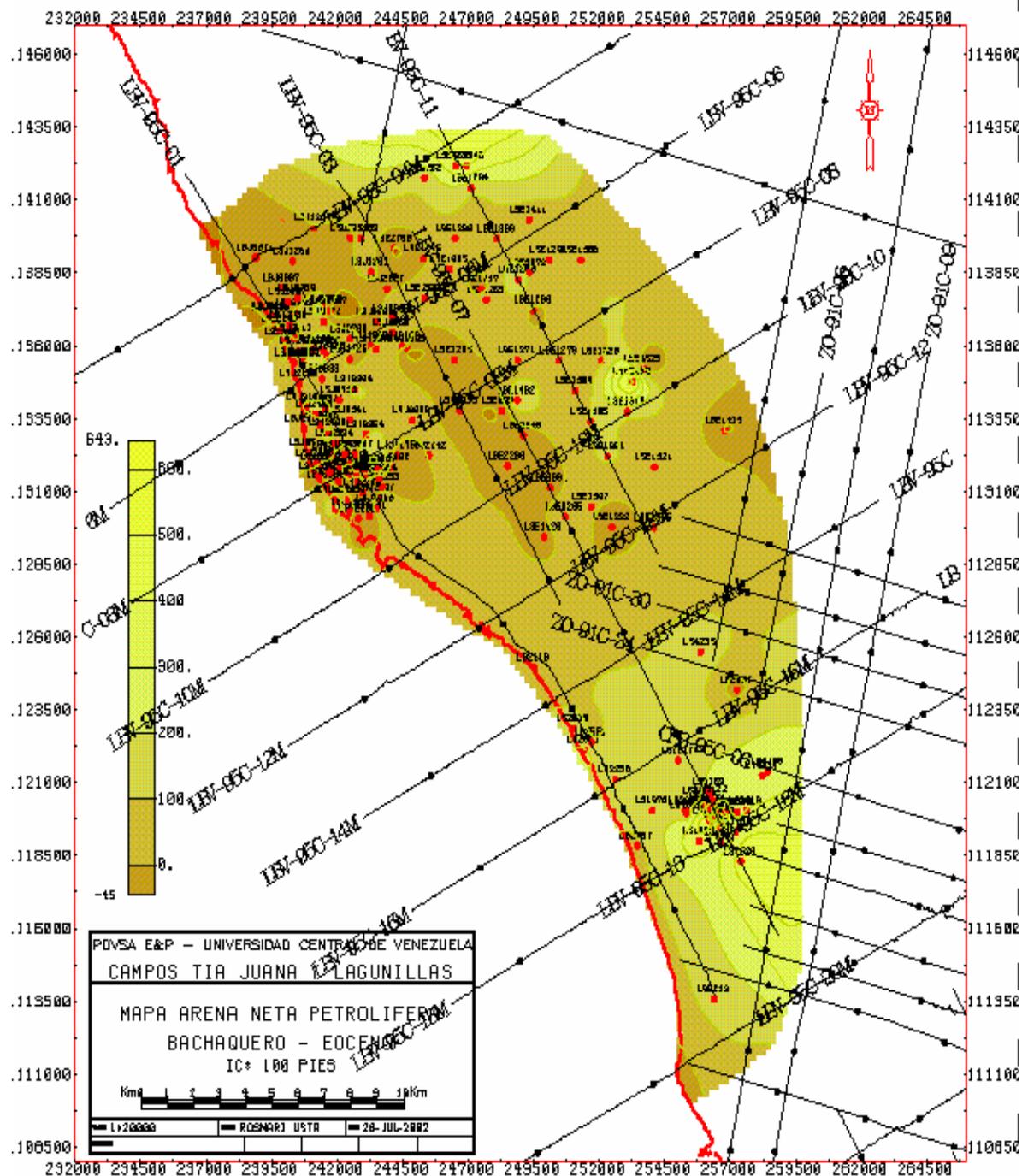


FIGURA 6.17 Mapa de arena neta total entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero



**FIGURA 6.18** Mapa de arena neta petrolifera entre el intervalo de la discordancia del Eoceno al tope del Miembro Bachaquero.

## 6.4 Oportunidades de Perforación

Integrando la información obtenida a partir de la interpretación estructural, de datos sísmicos 2D, realizada en los campos Tía Juana y Lagunillas, pertenecientes a la Costa Oriental Bolívar, se plantean dos posibles localizaciones las cuales se nombran a continuación.

La primera localización se ubica en el centro del área de estudio, ubicada en el campo Lagunillas y esta limitada por dos fallas normales de 2.5 Km y 10 Km de extensión, en el mapa estructural se observa el cierre de estas dos fallas, el rumbo de esta falla es NNO-SSE y NO-SE respectivamente, con buzamientos hacia el ENE y OSO, delimitando así un bloque deprimido. Este cierre se observa a nivel general del mapa, evento resaltante para justificar esta posible localización.

Para completar el análisis se procedió a ubicar las líneas mas cercanas a este cierre, el cual se concluye que en la línea LBV-95C-07, ppt. 1270, a pesar de que se está en un bloque deprimido, se aprecia un pequeño alto y presencia de altas amplitudes, alcanzada hasta la base del Miembro Lagunillas Inferior, razón por la cual se propone una zona probable de tipo estructural (Fig. 6.19).

La segunda localización es de tipo estratigráfica, ésta corresponde al campo Tía Juana, se propone en la línea LBV-95C-04, ppt. 1295, donde se observa la presencia de posibles valles excavados, en este caso, el valle excavado se encuentra por encima de la discordancia, es importante resaltar la presencia de estos valles incisos o excavados indica una buena oportunidad de trampa estratigráfica, razón por la que se propone esta zona (Fig 6.20). La profundidad de estos valles incisos o excavados es de aproximadamente de 300 a 350 pies.

En la figura 6.21 se representa las localizaciones correspondientes a partir de interpretación estructural y a partir de rasgo de la identificación del rasgo estratigráfico (valles excavados).

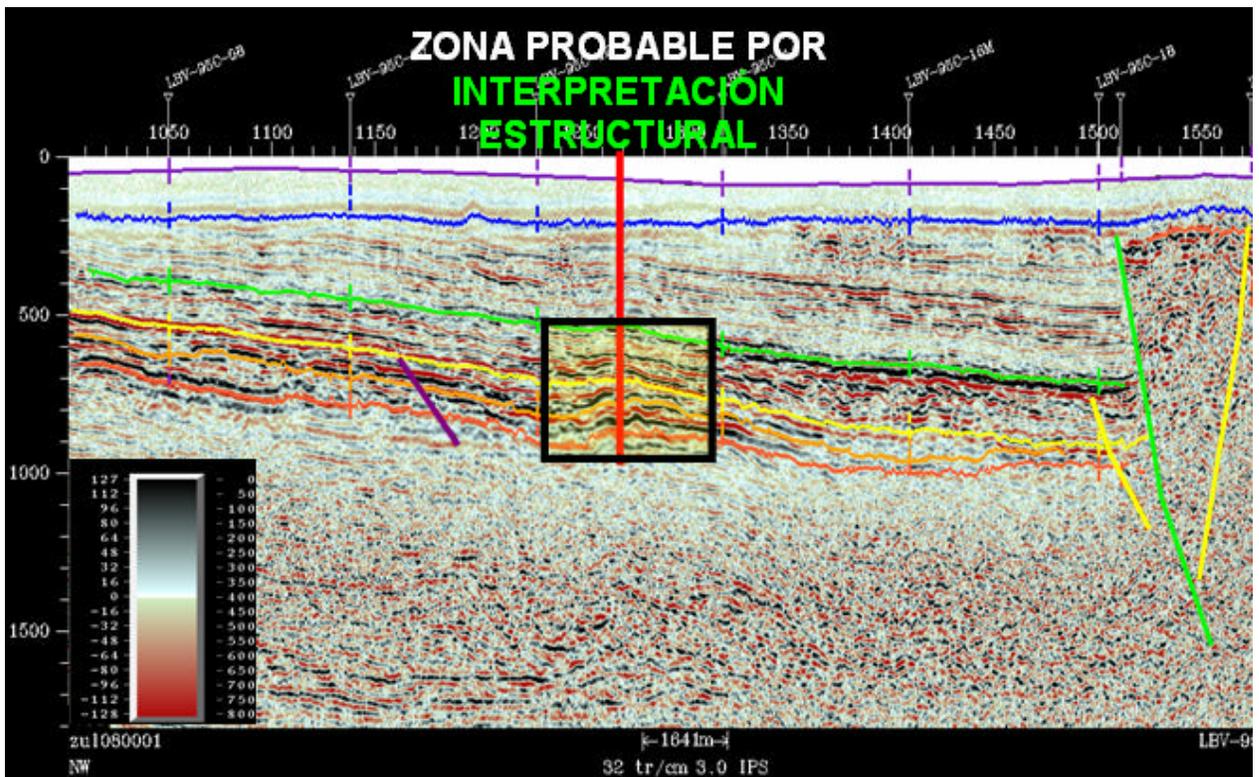


FIGURA 6.19 Zona probable obtenida a partir de interpretación estructural en presencia de un pequeño alto estructural

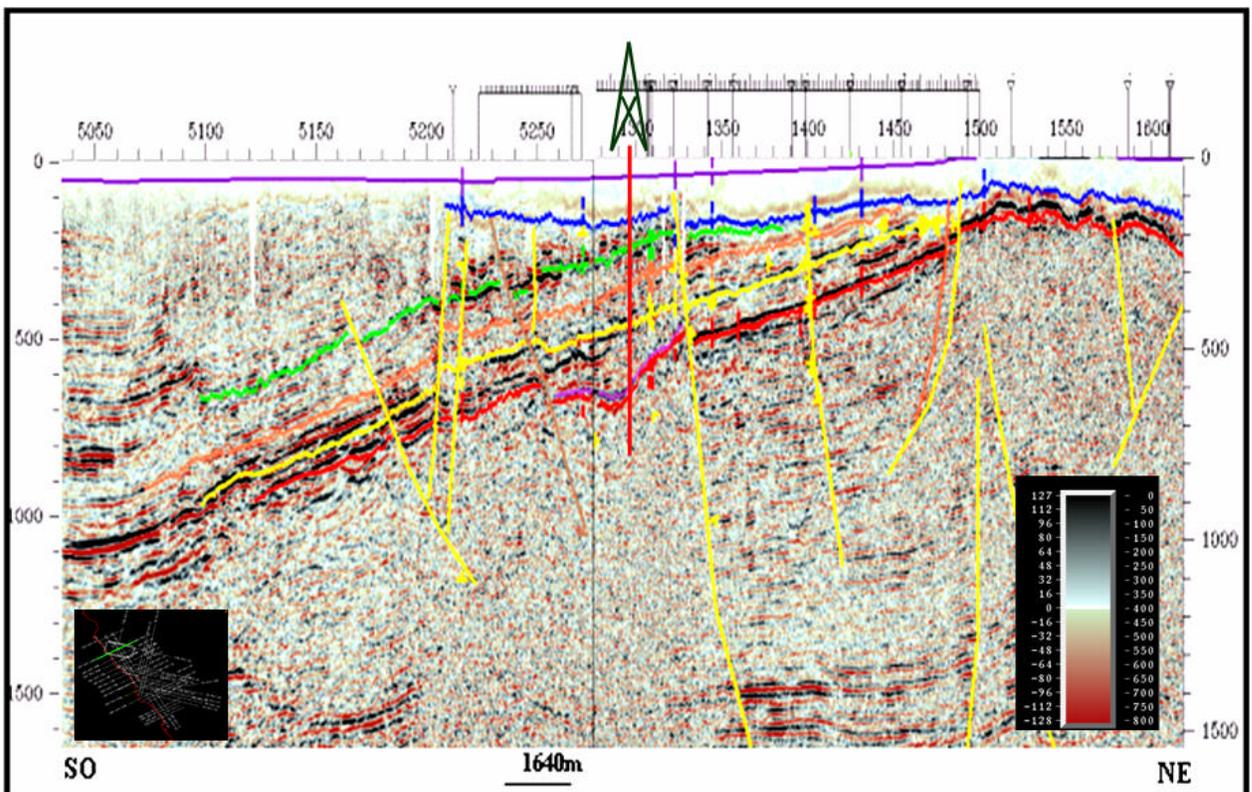


FIGURA 6.20 Representación de posible geometría de valles excavados, en la línea LBV-95C-04, de dirección SO-NE para la ubicación de posible localización

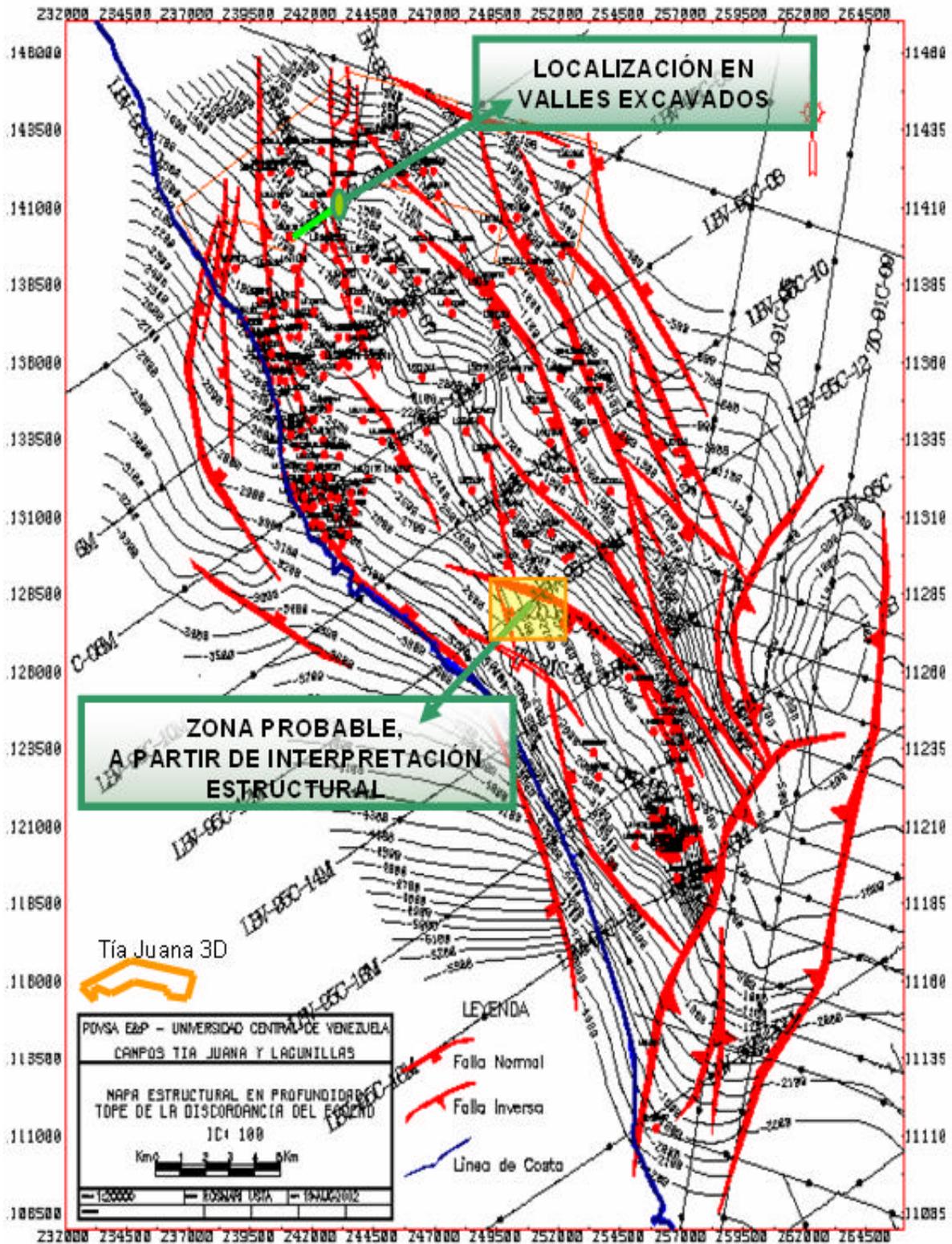


FIGURA 6.21 Ubicación de las posibles localizaciones, obtenidas a partir de interpretación estructural y representación de eventos estratigráficos (posible geometría de valles incisos).

El mapa de arena neta petrolífera representa espesores de arenas con fluidos entre 100-300 pies., en el área de ubicación de valles excavados, mientras que hacia la localización del área que se planteó a partir de eventos estructurales oscilan entre 50-100 pies. (Fig. 6.22).

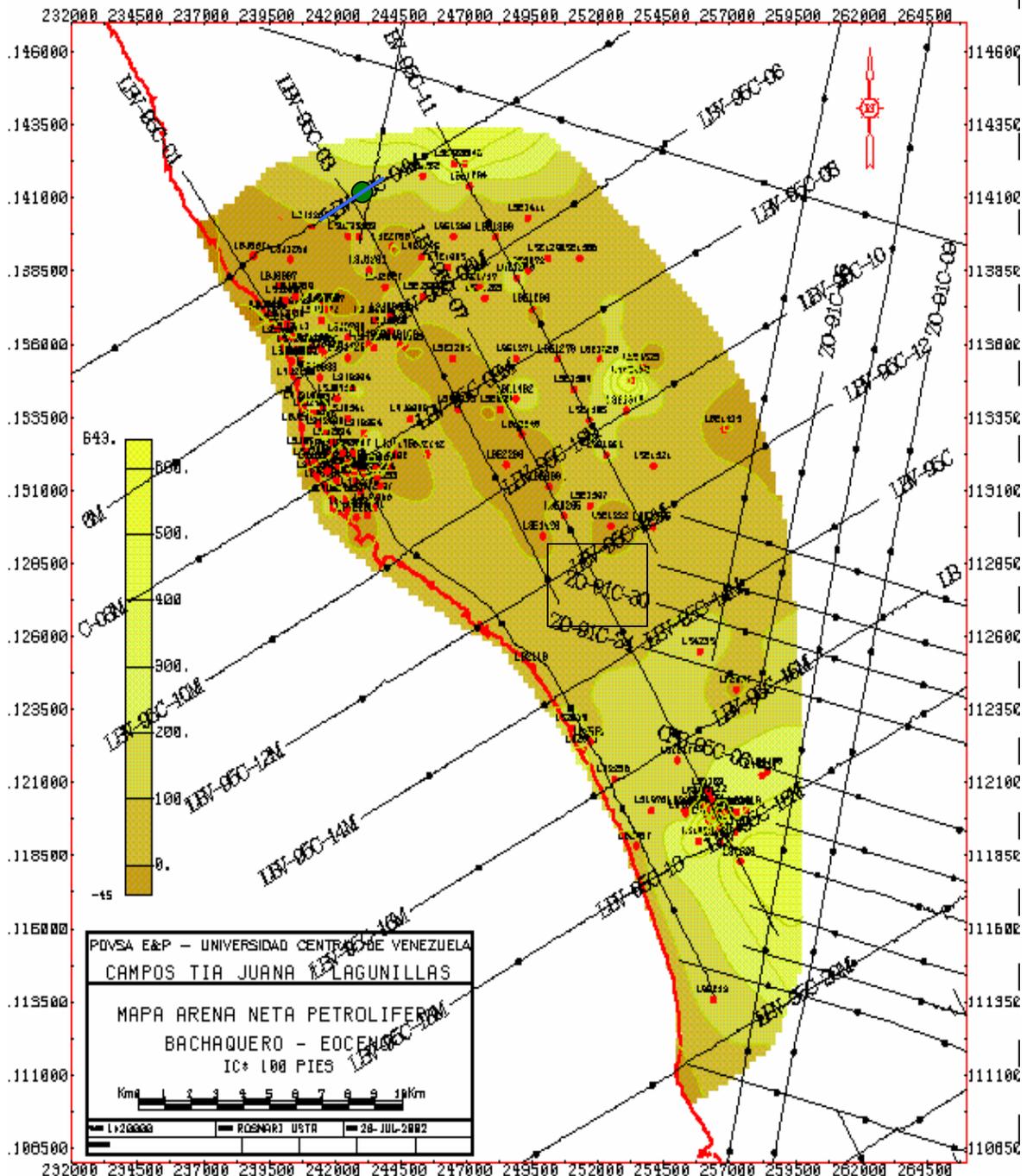


FIGURA 6.22 Representación de espesores de arena neta petrolífera, para las zonas propuestas de la interpretación estructural y geometría de valles excavados.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se señalan las conclusiones y recomendaciones de la interpretación sísmica del levantamiento de datos sísmicos 2D correspondiente a los campos Tía Juana y Lagunillas, Costa Oriental Bolívar.

### **7.1 Conclusiones**

- La interpretación sísmica estructural permitió definir el marco estructural integrado en los campos Lagunillas y Tía Juana en cuatro horizontes interpretados, correspondientes a la discordancia del Eoceno, tope del Miembro Lagunillas Inferior, Miembro Laguna y Miembro Bachaquero. En los mapas estructurales derivados de la interpretación resalta un homoclinal, muy fallado, con rumbo NNO-SSE y buzamiento OSO.
- Se establece en el área de estudio, un sistema de 35 fallas normales con rumbo promedio NNO-SSE y NO-SE producto de un régimen extensivo, paralelas al rumbo del homoclinal y casi perpendicular a la falla Pueblo Viejo de alto buzamiento con una dirección aproximada NE-SO, de 27Km de extensión, asociada a una falla transpresiva sinestral.
- La resolución de los datos sísmicos del levantamiento bidimensional de los campos Tía Juana y Lagunillas, permite detectar espesores mayores a 79.3 pies.
- El análisis conjunto de los cuatro mapas de arenas, obtenidos de la evaluación petrofísica que se realizó (espesor total, arena neta, arena neta total y arena petrolífera) pone en evidencias el rango de los valores de arenas ubicada en el área, específicamente el mapa de arena neta petrolífera indica los mayores espesores se encuentran hacia el norte y sureste del área.

- Se interpretaron en algunas líneas sísmicas geometría de posibles valles incisos al noreste del área de estudio, que se extienden por 10Km. con orientación NO-SE, rasgo que correspondería a un buena trampa estratigráfica.
- Se propusieron dos localizaciones de pozos para el área de estudio. La primera localización corresponde al campo Lagunillas, donde se pudo observar en el mapa estructural de la interpretación sísmica un cierre en el bloque deprimido, justamente en la línea LBV-95C-07 , Punto de tiro 1270 en la cual se aprecia un pequeño alto y altas amplitudes, en la base del Miembro Lagunillas Inferior. La segunda localización es estratigráfica y corresponde al campo Tía Juana, en la línea LBV-95C-04, punto de tiro 1295 y corresponde a la evaluación de los probables valles excavados.
- Se comparó el marco estructural del mapa oficial a partir de información de pozos del Miembro Lagunillas Inferior con el mapa estructural obtenido de la interpretación sísmica para un mismo nivel, en este caso Miembro Lagunillas Inferior, permitiendo tener la validación de 3 fallas normales para el campo Lagunillas y 8 fallas normales para el campo Tía Juana. El resto de las fallas obtenidas a partir de la interpretación sísmica integrada en los campos Lagunillas y Tía Juana sería un nuevo aporte al marco estructural existente.

## **7.2 Recomendaciones**

- Analizar con mas detalle las localizaciones propuestas, en cuanto a factores que puedan afectar la acumulación, como son la estratigrafía, roca sello, roca reservorio, generación, migración, probable presencia de agua meteórica, etc.
- Realizar la adquisición de un levantamiento sísmico 3D en los campos Tía Juana y Lagunillas, con la finalidad de aumentar la confiabilidad del resultado de la interpretación sísmica y dar continuidad a las estructuras comunes a ambos campos.
- Revisión y actualización de las bases de datos tanto geológicos como petrofísicos, a fin de obtener una mayor precisión en la interpretación de la sísmica.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMARZA, R. (1998). <http://www.pdv.com/léxico>. PDVSA INTEVEP. Los Teques. Venezuela.

ATKINSON, G., (1956). Development Bolívar/Baralt Coast (Lagunillas Field). Informe Técnico.

AUDEMARD, F. (1991). Tectonic of Western Venezuela. Rice University, Texas. Thesis Ph.D. Inédito. p.245.

AUDEMARD, F. (1993). Glosario de estratigrafía secuencial. PDVSA. Caracas. Venezuela. p. 30.

AZUAJE, Q. (2000). Interpretación sísmica del bloque W6. Campo Lagunillas Costa Oriental del lago de Maracaibo, estado Zulia. Tesis de Grado U.C.V. Dep. de Geofísica. Caracas. Inédito.p. 176.

BRACHO, L. (1999). Incorporación de reservas probadas de petróleo por perforación avanzada (pozo LS5123), yacimiento Laguna Este Sur campo Lagunillas. Informe Técnico. Maracaibo. p. 23.

BROWN, A. (1986). The Role of Horizontal Seismic Sections in Stratigraphic Interpretation. AAPG Memoir 39. USA. p. 37-47.

BRICEÑO, Y ( 1999). Atributos sísmicos. Presentación de gerencia integral de yacimiento. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Caracas. Inédito.

CANADIAN SOCIETY OF PETROLEUM GEOLOGISTS (1994). The Stratigraphic Organization of Incised Valley Systems: Implications to Hydrocarbon Exploration and Production. Calgary, Alberta.

CARMONA, J. y MORENO, J. (1996). Delimitación de los yacimientos post-Eoceno en las áreas periféricas de los campos Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero. Memoria descriptiva. Informe Técnico. Maraven S.A. Maracaibo. p. 33.

CIED (1996). Sísmica para Ingenieros y geólogos de yacimientos. Tamare, Estado Zulia.

DELGADO, I. y VELAZCO, J. (2001). Modelo Petrofísico área del proyecto APTJC, campo Tía Juana. Maracaibo. Informe Técnico. p. 39.

De TONI, B. (1995). Eventos y estilos Tectónico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

CHEN, QUINCY y SYDNEY. (1997). Seismic Attribute Tecnology for reservoirs forecasting and monitoring. Western Atlas International. Houston, Texas.

EXGEO C.A (1991). Reporte final de procesamiento Zulia Oriental. Maraven S.A. Caracas, Venezuela. p. 1-39.

EXGEO C.A (1995). Levantamiento sísmico Lagunillas-Bachaquero, Cabimas-Pueblo Viejo. Maraven S.A. Bachaquero. Maracaibo. Reporte final. p. 1-44.

EXGEO C.A (1995). Proyecto Zulia Oriental. Maraven. Caracas, Venezuela. Reporte final. p. 1-35.

EXGEO C.A (1996). Reporte final de procesamiento de datos sísmicos de las áreas Lagunillas-Bachaquero; Cabimas-Pueblo Viejo. Maraven S.A. Caracas, Venezuela. p. 1-70.

FELDER, B. (1980). Evaluación de formaciones en Venezuela. Schlumberger. 1-20.

FIGUEROA, L (1994). Análisis estructural – estratigráfico del área de Barinas-Norte (cuenca de Barinas) y su importancia en la exploración de hidrocarburo.

GIL, A. (1986). Revisión geológicas de las áreas periféricas norte y este (yacimiento Laguna y Lagunillas Inferior). Maraven S.A. Caracas. Informe Técnico.

GODDARD, D. (1985). Revisión geológica de los yacimientos Miocenos – Campo Lagunillas. Maraven S.A. Caracas.

GONZÁLEZ DE JUANA (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Tomo II. Ediciones Foninves, Caracas. p. 1031.

INSTITUTO DE DESERROLO PROFESIONAL Y TÉCNICO (1998) . Geología de Producción. PVVSA. CIED.

LACRUZ, M. (2000). Interpretación estructural y análisis de atributos sísmicos yacimientos Mioceno y Eoceno, Bloque X Lago de Maracaibo. Tesis de Grado U.C.V. Dep. de Geofísica. Caracas. Inédito.p. 108.

LANDMARK GRAFICS CORPORATION (1995). Seiswork/3D User Guide. p. 476.

LANDMARK GRAFICS CORPORATION (1995). Syntool. Realse notes. p. 1-24.

LUGO, J. y MANN, P. (1993) Tectonic implication of Paleocene-Eocene foreland basin Lake Maracaibo, Vnezuela. AAPG Memoir. Petroleum Basins of South American. Gerencia de Exploración. Informe Técnico.

LUGO, J. (1994). Tectonic control on deposition from late Mesozoic to early Cenozoic in Western Venezuela, V. Simposio: Exploración Petrolera en las cuencas Subandinas. Pto. La Cruz. p. 291 – 340.

MENDEZ, O. (1982). El Fenómeno de Subsistencia del campo Tía Juana y Lagunillas. UCV. Caracas. Notas para el curso de geología del Petróleo.

MOREANGE, N. (2001). Evaluación de la Campaña de perforación de pozos horizontales del campo Tía Juana. Tesis de Grado L.U.Z. Inédito.

NÚÑEZ, V. y KUDRNA, A. (1993). Instructivo para la generación de sismogramas sintéticos. Maraven S.A. Caracas. p. 40.

OSTOS, M. (1990). Evaluación Tectónica del margen Sur – Central del Caribe basados en datos geoquímicos. University, Texas. Thesis Ph.D. Inédito.

RICHARDSON, J.A. (1951). Tía Juana and Lagunillas subsurface studies. Parte II-2 Lagunillas. Informe Técnico.

RICHARDSON, J.A. (1949). Tarsand prospect, Lagunillas (Bolívar district). Informe Técnico.

SALAZAR, J. (2001). Modelo Petrofísico Integrado del Proyecto W6, Miembro Bachaquero, yacimiento Laguna, Campo Lagunillas Tierra. Informe Técnico. PDVSA E&P. Maracaibo. Venezuela.

SANGUINETTI, M. (1996). Interpretación Sísmica Estructural 2D del Campo la Concepción área norte, estado Zulia. Tesis de Grado U.C.V. Dep. de Geofísica. Caracas. Inédito. p. 90.

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

SCHLUMBERGER SURENCO, C.A. (1997). Evaluación de Pozos. Caracas. Venezuela.

SHERIFF, R.E. (1977). Limitations on resolution of seismic reflections and geologic detail derivable from them. En C.E., Payton ed., Seismic Stratigraphy application to hydrocarbon exploration: AAPG, Memory 26. p. 213 – 248.

SHERIFF, R.E y GELDART (1995). Exploration Seismology. Universidad de Cambridge, Nueva York, Estados Unidos.

SHERIFF, R. (1999). Encyclopedic dictionary of exploration Geophysics. 3era edición SEG. p. 384.

SLAVIONE (1980). Pruebas pilotos de pozos de interespaciados en el proyecto W6 del yacimiento Lagunillas Superior pesado del campo Lagunillas. Informe Técnico. Maracaibo.

SOTO, C. (1998). Geología de Producción. PDVSA, CIED. Caracas. p. 7-20.

SUTTON, F (1946). Geology of Maracibo basin, Venezuela. American Association of Petroleum Geologist bulletin. V30. N° 10. p. 1621-1741.

RODRÍGUEZ, J. (2001). Interpretación sísmica 3D del área periférica Bachaquero norte, Costa Oriental del lago de Maracaibo, estado Zulia. Tesis de Grado U.C.V. Dep. de Geofísica. Caracas. Inédito.p. 160.

SUELOPETROL C.A. (1997). Adquisición de datos sísmicos, proyecto Tía Juana 3D. Maraven S.A. Caracas, Venezuela. p. 1-38.

TARNER, N y SHERIFF, R.E (1977). Aplication of Amplitude, Frecuency and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon determination. En C.E., Payton ed., Seismic Stratigraphy application to hydrocarbon exploration: AAPG, Memory 26. p. 301-327.

UNIDAD TIERRA ESTE PESADO (2000). Resultados de la perforación de los Sondeos Estratigráficos en las áreas periféricas de los campos Costaneros Bolívar. Maracaibo. Informe Técnico.

VELAZCO, J. (2001). Sondeos estratigráficos delimitadores Tierra Este Pesado, Plan 2001. PDVSA E&P. Informe Técnico. Maracaibo. p. 18.

WESTERN ATLAS (1992). Introduction to wireline log analisys. Logging Services. Houston. Texas, USA.

ZAMBRANO, E. (1971). Síntesis paleogeográfica y petrolera del Occidente de Venezuela. Congreso Geológico Venezolano. 4th Memoria. Vol I. Boletín de Geología. Puclicación especial, Vol. V. Venezuela. p. 483-552.

**APÉNDICE 1.1 Parámetros utilizados para la elaboración de las curvas Tiempo - Profundidad**

LS-5117	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
70	157
83	197
110	287
247	757
293	932
335	1097
400	1333
430	1442
438	1472
468	1577
490	1657
502	1703
534	1817
560	1907
582	1997
628	2147
664	2247
680	2297
714	2397
748	2497
798	2648
818	2709
828	2736
868	2875

LS-5123	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
100	212
128	300
187	500
289	850
378	1200
446	1450
484	1600
554	1855
574	1935
596	2015
616	2095
642	2175
668	2255
694	2335
720	2415
748	2495
772	2575
796	2655
822	2735
846	2815
874	2895
900	2972

LSE-1838A	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
146	359,000
184	494,000
246	704,000
304	904,000
364	1105,000
400	1209,000
458	1409,000
512	1609,000
534	1685,000
548	1742,000
582	1832,000
584	1846,000

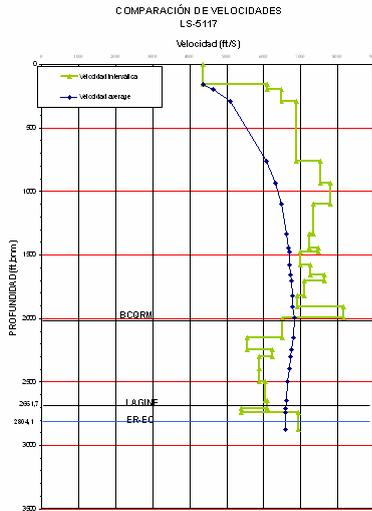
LSJ-2235	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
170	490,03
287	990,03
415	1490,03
561	1990,03
627	2190,03
788	2990,03
968	3990,03
1126	4990,03
1251	5750,03
1283	6030,03

LSE-4552	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
51	52
84	152
115	252
145	352
179	452
212	552
237	652
264	752
283	852
301	952
317	1052
336	1152

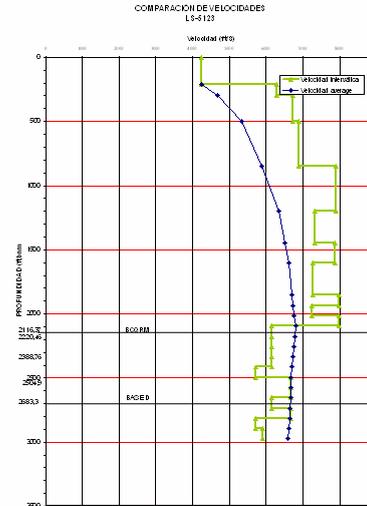
LS-5169	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
83	147
97	187
127	277
136	307
151	355
158	377
168	415
172	429
267	762
311	921
353	1087
418	1322
440	1404
446	1431
454	1461
484	1571
504	1645
506	1650
508	1655
516	1689
564	1871
604	2025
646	2138
666	2195
672	2217
682	2247
694	2286
700	2303
704	2319
754	2470
756	2477
758	2483
774	2527
792	2601
798	2623
802	2639
820	2687
830	2727
850	2781
856	2804

SLS-0007	
TWT(ms)	DEPTH (ft)
0	0
90	196
127	293
160	393
192	493
224	593
255	693
284	793
313	893
341	993
370	1093
400	1193
428	1293
455	1393
461	1418
468	1443
474	1468
480	1493
487	1518
494	1543
501	1568
508	1593
514	1618
521	1643
529	1668
536	1693
542	1718
549	1743
555	1768
562	1793
569	1818
576	1843
583	1868
591	1893
598	1918
603	1943
608	1968
614	1993
620	2018
625	2043
630	2068
636	2093
641	2118
646	2143
651	2168
656	2193
661	2218
666	2243
671	2268
675	2293
681	2318
686	2343
691	2368

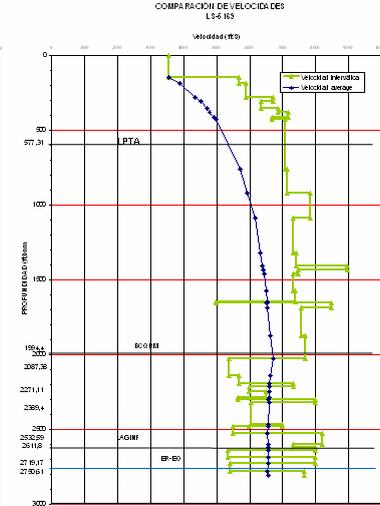
## APÉNDICE 2.1 Gráfico de velocidad interválica y promedio correspondiente a los pozos con CheckShots.



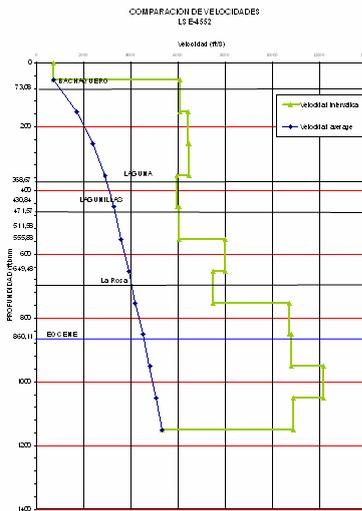
**LS 5117**



**LS 5123**



**LS 5169**



**APÉNDICE 3.1 Valores en profundidad obtenida a partir de la función generada de velocidad correspondiente a la discordancia del Eoceno**

<b>X (UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>POZOS</b>	<b>TVDSS</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Prof. Calculada</b>
256409	1120704	LS0841	-2736	942	-2789
256607	1120356	LS0843	-2762	942	-2791
256412	1120935	LS0847	-2692	935	-2762
255813	1121287	LS0849	-2756	950	-2823
256608	1120817	LS0851	-2662	930	-2741
256012	1121169	LS0853	-2739	945	-2803
256009	1120707	LS0862	-2817	960	-2862
256206	1120359	LS0865	-2852	962	-2869
256215	1121514	LS0918	-2647	926	-2725
253428	1123384	LS0983	-2801	942	-2791
253428	1123384	LS0983A	-2777	942	-2791
249326	1140320	LS1411	-840	510	-1077
256790	1133103	LS1414	-1062	552	-1245
255210	1120713	LS1926	-2968	999	-3016
255116	1120350	LS2043	-3014	1018	-3091
256416	1119990	LS2061	-2867	963	-2874
256797	1119318	LS2085	-2927	964	-2876
255544	1111643	LS2379	-3011	931	-2746
256815	1119987	LS2502	-2813	942	-2790
257040	1120293	LS2541	-2696	925	-2722
257242	1120639	LS2698	-2588	918	-2695
256194	1120101	LS2917	-2898	971	-2905
256630	1120124	LS2920	-2812	948	-2813
257207	1120441	LS2932	-2630	923	-2714
256620	1119919	LS3003	-2838	955	-2840
257409	1120581	LS3034	-2370	921	-2707
253622	1122603	LS3855	-2907	977	-2927
256854	1122820	LS3859	-2155	892	-2592
255461	1125466	LS3969	-2254	821	-2311
254864	1125819	LS3982	-2315	788	-2180
255863	1124063	LS4094	-2400	822	-2314
256678	1123367	LS4136	-2341	871	-2509
256851	1125307	LS4856	-2122	822	-2316
256512	1120193	LS5117	-2809	952	-2829
256072	1120195	LS5121	-2886	974	-2918
256205	1120681	LS5169	-2760	952	-2830
250691	1130126	LSE0285	-2210	829	-2343
250123	1131126	LSE0801	-2147	801	-2232
249113	1132913	LSE0948	-2033	753	-2041
248268	1133760	LSE0954	-2001	748	-2020
252488	1129766	LSE1222	-2072	769	-2103
246479	1135509	LSE1245	-1920	724	-1925
245303	1138986	LSE1255	-1545	612	-1482
243322	1141767	LSE1258	-1062	507	-1067
246508	1139665	LSE1260	-1337	556	-1260
245323	1141759	LSE1262	-1141	481	-962
247122	1141399	LSE1264	-992	532	-1165
247693	1137578	LSE1265	-1467	606	-1458
244531	1143145	LSE1266	-812	457	-870

249491	1137219	LSE1269	-1341	605	-1454
250483	1135485	LSE1270	-1440	653	-1643
248879	1135493	LSE1271	-1608	664	-1687
248902	1138269	LSE1283	-1139	572	-1326
250105	1138948	LSE1291	-999	540	-1199
252306	1132194	LSE1301	-1660	732	-1958
251668	1133398	LSE1305	-1640	707	-1857
251075	1134443	LSE1309	-1497	671	-1716
247497	1137927	LSE1317	-1424	594	-1410
253074	1133735	LSE1318	-1384	618	-1508
254108	1131832	LSE1321	-1499	661	-1678
252082	1135469	LSE1328	-1249	597	-1424
251695	1130464	LSE1347	-2064	767	-2097
254090	1129748	LSE1365	-1953	765	-2088
251306	1138938	LSE1386	-821	502	-1046
248113	1139660	LSE1390	-1150	547	-1226
246299	1138632	LSE1405	-1459	595	-1414
249887	1129430	LSE1429	-2445	850	-2427
248870	1134111	LSE1492	-1829	726	-1933
245693	1137593	LSE1587	-1739	652	-1641
250315	1140679	LSE1595	-771	455	-862
248504	1131866	LSE2238	-2154	797	-2216
245337	1137623	LSE2533	-1780	665	-1693
252529	1142397	LSE2605	-195	240	-9
244172	1139336	LSE2780	-1625	623	-1526
252288	1129653	LSE3227	-2100	792	-2195
249301	1138492	LSE3672	-1031	563	-1289
253688	1135198	LSE4525	-1099	542	-1207
252140	1139466	LSE4552	-634	400	-645
253277	1134770	LSE5189	-1256	545	-1217
246525	1142169	LSE5528	-993	470	-919
246925	1142173	LSE5546	-937	455	-859
241560	1133821	LSJ0324	-2507	858	-2455
241411	1134853	LSJ0333	-2329	808	-2257
241080	1135893	LSJ0337	-2189	764	-2083
242463	1133456	LSJ0341	-2531	876	-2529
242671	1134495	LSJ0344	-2325	832	-2355
243107	1132941	LSJ0354	-2589	894	-2598
244087	1136911	LSJ0360	-2134	729	-1947
242500	1131907	LSJ0363	-2803	935	-2763
239905	1137978	LSJ0367	-1791	654	-1651
238901	1139025	LSJ0371	-1805	636	-1578
240916	1135389	LSJ0463	-2247	781	-2153
241370	1133270	LSJ0466	-2591	878	-2536
239984	1136120	LSJ0467	-2170	758	-2060
240918	1132340	LSJ0516	-2777	914	-2678
241358	1131849	LSJ0532	-2863	930	-2740
242077	1134150	LSJ0533	-2439	852	-2435
241490	1137279	LSJ0558	-1993	743	-2001
239502	1136973	LSJ0625	-2045	722	-1919
240393	1137121	LSJ0642	-2056	714	-1888
241582	1131247	LSJ0651	-2970	944	-2799

242479	1136230	LSJ0763	-2100	763	-2081
241483	1136815	LSJ0772	-2061	750	-2028
240490	1137626	LSJ0789	-2003	695	-1811
244864	1133441	LSJ0808	-2379	854	-2442
246667	1133774	LSJ0953	-2273	781	-2153
243086	1136802	LSJ1060	-1928	747	-2016
243075	1135880	LSJ1062	-2033	771	-2113
241723	1137183	LSJ1067	-1971	745	-2009
243487	1136799	LSJ1068	-1926	742	-1999
240892	1137857	LSJ1072	-1940	711	-1873
242092	1137617	LSJ1073	-1903	743	-2003
243476	1135876	LSJ1075	-2017	769	-2103
243278	1135994	LSJ1080	-2017	766	-2093
242475	1135540	LSJ1125	-2171	786	-2171
241299	1139012	LSJ1165	-1771	693	-1802
244303	1132241	LSJ1175	-2623	918	-2693
244083	1134111	LSJ1189	-2272	836	-2371
244687	1135874	LSJ1203	-2092	751	-2032
242506	1139697	LSJ1253	-1574	637	-1582
242903	1139693	LSJ1259	-1545	623	-1528
243296	1138537	LSJ1261	-1658	691	-1797
240299	1138901	LSJ1263	-1846	620	-1515
241110	1140050	LSJ1267	-1610	640	-1595
242094	1141074	LSJ1268	-1322	554	-1254
240512	1141089	LSJ1287	-1552	592	-1403
239254	1137352	LSJ2113	-2023	709	-1865
240811	1133873	LSJ2131	-2482	845	-2405
241282	1131509	LSJ2155	-2921	936	-2766
240758	1133164	LSJ2162	-2667	883	-2558
240570	1134689	LSJ2180	-2378	812	-2273
244096	1131820	LSJ2182	-2697	933	-2755
242054	1131348	LSJ2207	-2921	957	-2849
240159	1135900	LSJ2235	-2191	766	-2094
245503	1132233	LSJ2242	-2498	907	-2651
243537	1130788	LSJ2247	-2953	972	-2910
243717	1131155	LSJ2253	-2860	958	-2853
239538	1136988	LSJ2265	-2031	721	-1913
242429	1131541	LSJ2273	-2858	949	-2818
242778	1131318	LSJ2279	-2882	957	-2848
239832	1136574	LSJ2299	-2123	736	-1974
240694	1135437	LSJ2321	-2249	781	-2153
240172	1136687	LSJ2336	-2074	733	-1962
243608	1131452	LSJ2384	-2807	948	-2814
240134	1137505	LSJ2407	-1696	683	-1765
242487	1131934	LSJ2419	-2826	934	-2759
241705	1131668	LSJ2422	-2889	937	-2769
242130	1131845	LSJ2425	-2820	938	-2775
240547	1135819	LSJ2426	-2189	766	-2093
242289	1132284	LSJ2430	-2741	920	-2702
243222	1130138	LSJ2431	-3040	998	-3014
243581	1131776	LSJ2437	-2767	936	-2767
243183	1130612	LSJ2441	-2968	981	-2946

242735	1131643	LSJ2444	-2837	945	-2800
243056	1131585	LSJ2447	-2830	946	-2806
243490	1130417	LSJ2463	-2990	986	-2965
241799	1132246	LSJ2470	-2765	920	-2704
241667	1132998	LSJ2506	-2629	890	-2583
240702	1135418	LSJ2512	-2249	782	-2156
243892	1137954	LSJ2527	-1856	689	-1787
240167	1135880	LSJ2530	-2195	767	-2098
241150	1133653	LSJ2538	-2538	857	-2454
241460	1135842	LSJ2559	-2184	770	-2108
240196	1136680	LSJ2564	-2071	734	-1967
241142	1133636	LSJ2581	-2536	858	-2457
241201	1131961	LSJ2586	-2840	926	-2725
241929	1132645	LSJ2594	-2683	904	-2639
242685	1132286	LSJ2597	-2732	920	-2701
240362	1135418	LSJ2603	-2265	785	-2169
241120	1136798	LSJ2608	-2070	750	-2030
242501	1132996	LSJ2609	-2607	891	-2588
240367	1136261	LSJ2611	-2120	762	-2079
244082	1136449	LSJ3169	-2036	743	-2003
244479	1135985	LSJ3190	-2087	751	-2034
241611	1135657	LSJ3326	-2215	779	-2143
259101	1123148	SLS0003	-1546	747	-2018
255966	1111254	SLS0007	-1987	650	-1632
245433	1143312	SONLSE0002	-832	399	-640
242373	1142812	SONLSE0003	-972	459	-876
243549	1142732	SONLSE0010	-907	485	-980
252674	1136034	SONLSE0017	-1110	585	-1378
253304	1135664	SONLSE0018	-1063	558	-1269
241122	1142130	SONLSJ0005	-1245	517	-1106
240322	1142135	SONLSJ0007	-1332	530	-1158
240729	1142822	SONLSJ0008	-1131	504	-1054

**APÉNDICE 3.2 Valores en profundidad obtenida a partir de la función generada de velocidad correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior**

<b>X (UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>POZOS</b>	<b>TVDSS</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Prof. Calculada</b>
250691	1130126	LSE0285	-1934	739	-1961
250123	1131126	LSE0801	-1829	705	-1835
249113	1132913	LSE0948	-1638	655	-1652
248268	1133760	LSE0954	-1631	646	-1619
252488	1129766	LSE1222	-1807	701	-1822
246479	1135509	LSE1245	-1500	625	-1541
245303	1138986	LSE1255	-1045	466	-958
243322	1141767	LSE1258	-532	396	-699
246508	1139665	LSE1260	-886	405	-733
245323	1141759	LSE1262	-563	329	-452
247122	1141399	LSE1264	-587	323	-432
247693	1137578	LSE1265	-1078	484	-1024
244531	1143145	LSE1266	-303	274	-250
249491	1137219	LSE1269	-958	443	-874
250483	1135485	LSE1270	-1095	498	-1074
248879	1135493	LSE1271	-1229	552	-1274
248902	1138269	LSE1283	-786	411	-755
250105	1138948	LSE1291	-682	355	-548
252306	1132194	LSE1301	-1386	584	-1392
251668	1133398	LSE1305	-1290	551	-1270
251075	1134443	LSE1309	-1203	526	-1176
247497	1137927	LSE1317	-1063	472	-979
253074	1133735	LSE1318	-1033	471	-974
254108	1131832	LSE1321	-1238	530	-1192
252082	1135469	LSE1328	-902	435	-842
251695	1130464	LSE1347	-1739	701	-1823
254090	1129748	LSE1365	-1600	650	-1635
251306	1138938	LSE1386	-464	343	-506
248113	1139660	LSE1390	-761	381	-645
246299	1138632	LSE1405	-1020	463	-947
249887	1129430	LSE1429	-2174	778	-2105
248870	1134111	LSE1492	-1448	617	-1513
245693	1137593	LSE1587	-1270	540	-1228
250315	1140679	LSE1595	-319	277	-262
251298	1130927	LSE1838	-1741	690	-1782
248504	1131866	LSE2238	-1891	704	-1832
245337	1137623	LSE2533	-1286	547	-1253
244172	1139336	LSE2780	-1068	473	-981
252288	1129653	LSE3227	-1809	713	-1866
249301	1138492	LSE3672	-654	388	-669
244098	1139436	LSE3841	-1036	471	-975
244709	1139797	LSE3964	-961	442	-870
245915	1140483	LSE3975	-792	383	-654
245315	1140135	LSE3984	-861	412	-758
243919	1141417	LSE4129	-633	385	-659
244521	1141760	LSE4226	-588	343	-503
246519	1140823	LSE4516	-691	365	-586
253688	1135198	LSE4525	-796	425	-806

247337	1141255	LSE4540	-580	328	-451
252140	1139466	LSE4552	-327	275	-253
252140	1139466	LSE4552	-358	275	-253
247921	1141634	LSE4779	-431	279	-270
248332	1141821	LSE4984	-364	255	-182
241560	1133821	LSJ0324	-2011	740	-1964
241411	1134853	LSJ0333	-1819	707	-1845
241080	1135893	LSJ0337	-1671	705	-1836
242463	1133456	LSJ0341	-2050	742	-1973
242671	1134495	LSJ0344	-1846	712	-1861
243107	1132941	LSJ0354	-2128	752	-2010
244087	1136911	LSJ0360	-1574	647	-1622
242500	1131907	LSJ0363	-2316	802	-2192
239905	1137978	LSJ0367	-1252	587	-1403
238901	1139025	LSJ0371	-1321	606	-1472
240916	1135389	LSJ0463	-1748	701	-1823
241370	1133270	LSJ0466	-2083	759	-2033
239984	1136120	LSJ0467	-1642	675	-1726
240918	1132340	LSJ0516	-2268	791	-2153
241358	1131849	LSJ0532	-2377	804	-2198
242077	1134150	LSJ0533	-1948	727	-1916
241490	1137279	LSJ0558	-1456	658	-1662
239502	1136973	LSJ0625	-1540	644	-1613
239924	1137106	LSJ0634	-1504	629	-1557
240393	1137121	LSJ0642	-1521	633	-1571
241582	1131247	LSJ0651	-2491	813	-2232
242000	1130721	LSJ0682	-2542	835	-2314
242479	1136230	LSJ0763	-1546	689	-1777
241483	1136815	LSJ0772	-1519	672	-1715
240490	1137626	LSJ0789	-1458	621	-1527
244864	1133441	LSJ0808	-1946	716	-1876
246667	1133774	LSJ0953	-1831	676	-1730
243086	1136802	LSJ1060	-1446	662	-1677
243075	1135880	LSJ1062	-1547	698	-1808
241723	1137183	LSJ1067	-1453	665	-1687
243487	1136799	LSJ1068	-1446	662	-1678
240892	1137857	LSJ1072	-1402	637	-1587
242092	1137617	LSJ1073	-1377	647	-1622
243476	1135876	LSJ1075	-1560	704	-1833
243278	1135994	LSJ1080	-1525	698	-1809
241695	1138082	LSJ1097	-1320	626	-1545
240489	1137396	LSJ1123	-1490	627	-1550
242475	1135540	LSJ1125	-1659	700	-1816
241299	1139012	LSJ1165	-1246	563	-1312
244303	1132241	LSJ1175	-2194	769	-2072
244083	1134111	LSJ1189	-1878	704	-1833
243290	1138997	LSJ1196	-1065	545	-1246
244687	1135874	LSJ1203	-1693	672	-1713
242295	1138427	LSJ1232	-1272	598	-1441
242506	1139697	LSJ1253	-1037	501	-1086
242903	1139693	LSJ1259	-1055	496	-1068
243296	1138537	LSJ1261	-1129	572	-1347

240299	1138901	LSJ1263	-1321	555	-1284
241110	1140050	LSJ1267	-1051	506	-1105
242094	1141074	LSJ1268	-767	446	-885
242910	1138769	LSJ1278	-1173	577	-1364
241699	1139009	LSJ1279	-1212	557	-1291
241504	1139350	LSJ1280	-1172	537	-1220
240107	1140398	LSJ1285	-1042	498	-1073
240512	1141089	LSJ1287	-909	478	-1003
239254	1137352	LSJ2113	-1523	637	-1587
240811	1133873	LSJ2131	-1998	743	-1977
241282	1131509	LSJ2155	-2424	804	-2200
240758	1133164	LSJ2162	-2120	765	-2057
242818	1130058	LSJ2166	-2645	854	-2382
240570	1134689	LSJ2180	-1877	713	-1865
244096	1131820	LSJ2182	-2282	789	-2145
242054	1131348	LSJ2207	-2453	820	-2259
240159	1135900	LSJ2235	-1684	684	-1760
240159	1135900	LSJ2235	-1676	684	-1760
245503	1132233	LSJ2242	-2096	760	-2040
243537	1130788	LSJ2247	-2490	838	-2326
243717	1131155	LSJ2253	-2393	822	-2266
239538	1136988	LSJ2265	-1521	643	-1606
242429	1131541	LSJ2273	-2385	816	-2245
242778	1131318	LSJ2279	-2415	826	-2282
242992	1130950	LSJ2284	-2460	839	-2329
239832	1136574	LSJ2299	-1608	655	-1652
240694	1135437	LSJ2321	-1740	700	-1818
240172	1136687	LSJ2336	-1580	649	-1631
243608	1131452	LSJ2384	-2369	812	-2228
240134	1137505	LSJ2407	-1190	610	-1487
242487	1131934	LSJ2419	-2315	801	-2189
241705	1131668	LSJ2422	-2382	809	-2218
242130	1131845	LSJ2425	-2346	805	-2205
240547	1135819	LSJ2426	-1691	697	-1805
242289	1132284	LSJ2430	-2262	789	-2144
243222	1130138	LSJ2431	-2589	853	-2382
242515	1130300	LSJ2432	-2615	847	-2358
243581	1131776	LSJ2437	-2297	797	-2176
243183	1130612	LSJ2441	-2511	846	-2354
242735	1131643	LSJ2444	-2365	812	-2230
243056	1131585	LSJ2447	-2359	813	-2233
242408	1130716	LSJ2454	-2531	840	-2333
243490	1130417	LSJ2463	-2528	848	-2361
241799	1132246	LSJ2470	-2286	793	-2160
241667	1132998	LSJ2506	-2146	766	-2059
240702	1135418	LSJ2512	-1743	700	-1818
243892	1137954	LSJ2527	-1318	561	-1306
240167	1135880	LSJ2530	-1681	685	-1763
241150	1133653	LSJ2538	-2046	748	-1993
241460	1135842	LSJ2559	-1679	703	-1829
240196	1136680	LSJ2564	-1581	650	-1633
241142	1133636	LSJ2581	-2042	748	-1995

241201	1131961	LSJ2586	-2346	801	-2189
241929	1132645	LSJ2594	-2208	777	-2100
242685	1132286	LSJ2597	-2245	785	-2130
240362	1135418	LSJ2603	-1755	696	-1803
241120	1136798	LSJ2608	-1542	665	-1688
242501	1132996	LSJ2609	-2133	758	-2029
240367	1136261	LSJ2611	-1622	676	-1728
242114	1140855	LSJ3163	-837	456	-919
244082	1136449	LSJ3169	-1543	680	-1744
244479	1135985	LSJ3190	-1729	682	-1750
242312	1140494	LSJ3240	-892	463	-947
241611	1135657	LSJ3326	-1695	702	-1826
245476	1135168	LSJ3368	-1660	664	-1687
242092	1140619	LSJ3570	-893	464	-951
245906	1132461	LSJ3653	-1995	742	-1971
241722	1140396	LSJ4459	-938	480	-1008
241309	1140164	LSJ4469	-1018	498	-1076
242514	1140849	LSJ4566	-811	449	-894
242715	1140963	LSJ4596	-801	442	-868
240704	1139826	LSJ4600	-1140	518	-1148
240305	1139593	LSJ4968	-1149	524	-1171
240104	1139479	LSJ4980	-1203	529	-1190
245433	1143312	SONLSE0002	-299	245	-144
242373	1142812	SONLSE0003	-377	331	-462
241122	1142130	SONLSJ0005	-620	396	-699
240322	1142135	SONLSJ0007	-684	416	-773
240729	1142822	SONLSJ0008	-495	343	-506
239902	1141968	SONLSJ0009	-858	435	-843
243549	1142732	SONLSE0010	-329	326	-442
251691	1139194	LSE4465	-252	313	-395
253277	1134770	LSE5189	-905	443	-871
252674	1136034	SONLSE0017	-747	404	-730
253304	1135664	SONLSE0018	-754	408	-745
253672	1134072	LSE5500	-944	459	-931
246525	1142169	LSE5528	-439	287	-299
246925	1142173	LSE5546	-403	270	-238
253673	1134303	LSE5539	-960	452	-906
256205	1120681	LS5169	-2621	923	-2636
256512	1120193	LS5117	-2667	938	-2691
256072	1120195	LS5121	-2734	959	-2768
253428	1123384	LS0983	-2514	891	-2519
257074	1123348	LS3848	-2155	802	-2192
253622	1122603	LS3855	-2667	919	-2621
255648	1125792	LS4000	-2017	741	-1969
253428	1123384	LS0983A	-2494	891	-2519
253265	1123089	LS2995	-2599	917	-2614
256655	1124766	LS3827	-2210	762	-2046
256854	1122820	LS3859	-1991	825	-2276
256656	1124073	LS3911	-2090	790	-2148
256474	1124387	LS3936	-2111	785	-2129
255461	1125466	LS3969	-2063	764	-2054
254864	1125819	LS3982	-2075	760	-2039

255863	1124063	LS4094	-2250	802	-2192
257076	1123593	LS4130	-2035	793	-2161
256678	1123367	LS4136	-2177	807	-2210
258010	1120948	LS4255	-2240	973	-2819
251299	1130913	LSE1838A	-1742	691	-1784
256790	1133103	LS1414	-843	452	-907
249326	1140320	LS1411	-518	328	-449

**APÉNDICE 3.3 Valores en profundidad obtenida a partir de la función de velocidad correspondiente al Miembro Laguna**

<b>X (UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>POZOS</b>	<b>TVDSS</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Prof. Calculada</b>
250691,094	1130125,875	LSE0285	-1803	663	-1828
250123,344	1131126,375	LSE0801	-1700	615	-1664
249113,391	1132912,75	LSE0948	-1502	574	-1520
248267,766	1133759,875	LSE0954	-1484	563	-1482
252488,203	1129765,75	LSE1222	-1663	605	-1626
246478,5	1135508,75	LSE1245	-1337	514	-1312
245302,766	1138985,875	LSE1255	-931	385	-867
243321,859	1141767,125	LSE1258	-393	276	-487
246507,562	1139665,375	LSE1260	-736	341	-713
245323,344	1141758,75	LSE1262	-423	258	-423
247122,266	1141399	LSE1264	-441	244	-377
247692,609	1137578,125	LSE1265	-955	396	-904
244530,812	1143145,25	LSE1266	-186	220	-292
249491,109	1137218,875	LSE1269	-824	369	-811
250482,781	1135485	LSE1270	-986	424	-1002
248879,453	1135492,75	LSE1271	-1117	469	-1155
248901,641	1138268,875	LSE1271	-656	336	-695
250104,672	1138948	LSE1283	-556	252	-405
252306,422	1132194,125	LSE1301	-1263	518	-1325
251667,812	1133398	LSE1305	-1156	474	-1173
251074,906	1134443,25	LSE1309	-1060	449	-1086
247497,453	1137927	LSE1317	-945	385	-865
253074,438	1133735,25	LSE1318	-915	413	-961
254107,547	1131832,375	LSE1321	-1122	491	-1232
252081,516	1135469,125	LSE1328	-768	346	-730
251694,703	1130463,875	LSE1347	-1620	605	-1628
254090,312	1129748	LSE1365	-1493	567	-1497
251305,594	1138938,375	LSE1386	-335	249	-393
248112,875	1139659,875	LSE1390	-640	304	-584
246298,547	1138632,375	LSE1405	-893	383	-859
249887,469	1129430,25	LSE1429	-2016	691	-1925
248870,25	1134110,5	LSE1492	-1319	540	-1404
245693,156	1137592,75	LSE1587	-1145	437	-1047
250314,781	1140678,75	LSE1595	-212	206	-243
251298,234	1130927,25	LSE1838	-1621	596	-1595
248503,734	1131866,25	LSE2238	-1772	620	-1680
245337,172	1137622,875	LSE2533	-1170	445	-1074
244171,641	1139335,75	LSE2780	-912	389	-877
252287,688	1129652,5	LSE3227	-1686	619	-1676
249300,672	1138491,5	LSE3672	-544	312	-611
244098,094	1139436,25	LSE3841	-904	387	-874
244708,766	1139796,75	LSE3964	-816	370	-815
245914,547	1140483	LSE3975	-651	312	-611
245314,656	1140134,75	LSE3984	-735	345	-728
243918,594	1141416,75	LSE4129	-500	293	-546
244521,062	1141759,5	LSE4226	-459	268	-458
246518,797	1140823,375	LSE4516	-569	283	-513

253687,844	1135198	LSE4525	-673	357	-767
247336,844	1141254,5	LSE4540	-440	249	-392
252140,312	1139465,875	LSE4552	-183	211	-262
247921,453	1141634	LSE4779	-318	216	-278
248332,188	1141820,75	LSE4984	-263	204	-236
241559,688	1133821,25	LSJ0324	-1834	642	-1756
241410,734	1134852,625	LSJ0333	-1641	603	-1620
241079,766	1135893	LSJ0337	-1506	570	-1507
242463,094	1133455,75	LSJ0341	-1882	662	-1824
242670,562	1134494,75	LSJ0344	-1673	615	-1662
243106,703	1132941,25	LSJ0354	-1953	691	-1925
244086,672	1136911,125	LSJ0360	-1431	510	-1299
242500,359	1131907,125	LSJ0363	-2131	734	-2074
239905,141	1137977,875	LSJ0367	-1064	487	-1217
238900,969	1139025,25	LSJ0371	-1181	520	-1331
240915,594	1135388,5	LSJ0463	-1583	586	-1563
241370,297	1133270,25	LSJ0466	-1894	659	-1816
239984,016	1136120,25	LSJ0467	-1469	553	-1449
240918,234	1132339,875	LSJ0516	-2088	710	-1991
241358,234	1131849,375	LSJ0532	-2183	735	-2077
242076,703	1134149,875	LSJ0533	-1766	627	-1704
241489,703	1137279	LSJ0558	-1300	526	-1353
239502,219	1136972,875	LSJ0625	-1376	526	-1353
239923,547	1137106,25	LSJ0634	-1343	535	-1385
240392,547	1137120,75	LSJ0642	-1349	536	-1389
241581,547	1131246,75	LSJ0651	-2310	752	-2139
242000,125	1130720,75	LSJ0682	-2352	755	-2148
242479,234	1136230,25	LSJ0763	-1408	561	-1475
241482,766	1136814,75	LSJ0772	-1361	545	-1420
240490,312	1137626,25	LSJ0789	-1302	508	-1291
244864,156	1133440,75	LSJ0808	-1789	665	-1836
246667,375	1133773,75	LSJ0953	-1678	596	-1596
243085,641	1136801,625	LSJ1060	-1302	526	-1353
243074,938	1135879,75	LSJ1062	-1406	572	-1514
241722,969	1137183,25	LSJ1067	-1295	530	-1369
243486,844	1136798,75	LSJ1068	-1305	523	-1342
240892,109	1137856,875	LSJ1072	-1228	498	-1255
242091,891	1137617,375	LSJ1073	-1230	503	-1274
243476,234	1135875,75	LSJ1075	-1429	570	-1506
243277,656	1135994,25	LSJ1080	-1394	566	-1494
241694,734	1138082,125	LSJ1097	-1164	482	-1203
240489,125	1137396,25	LSJ1123	-1318	522	-1339
242474,625	1135539,625	LSJ1125	-1511	581	-1544
241299,344	1139012,375	LSJ1165	-1090	446	-1076
244303,203	1132240,875	LSJ1175	-2019	714	-2007
244082,938	1134110,5	LSJ1189	-1707	641	-1754
243290,297	1138996,75	LSJ1196	-893	417	-975
244686,938	1135874	LSJ1203	-1555	540	-1401
242295,078	1138427,25	LSJ1232	-1143	462	-1132
242506,094	1139696,5	LSJ1253	-888	405	-933
242903,188	1139692,5	LSJ1259	-888	398	-910
243296,453	1138536,75	LSJ1261	-963	440	-1055

240299,016	1138900,75	LSJ1263	-1163	449	-1085
241109,547	1140050,375	LSJ1267	-890	405	-934
242093,828	1141073,75	LSJ1268	-630	312	-611
242909,672	1138768,625	LSJ1278	-1019	436	-1040
241698,75	1139008,75	LSJ1279	-1058	444	-1071
241503,578	1139349,75	LSJ1280	-1039	432	-1027
240107,047	1140398,25	LSJ1285	-891	424	-999
240512,391	1141088,875	LSJ1287	-732	354	-756
239254,312	1137352,25	LSJ2113	-1364	503	-1273
240811,375	1133873,25	LSJ2131	-1799	640	-1747
241281,594	1131508,5	LSJ2155	-2242	746	-2117
240758,297	1133163,75	LSJ2162	-1932	660	-1818
242818,453	1130057,625	LSJ2166	-2442	767	-2188
240569,719	1134688,75	LSJ2180	-1686	607	-1636
244096,422	1131819,5	LSJ2182	-2103	731	-2065
242054,031	1131347,5	LSJ2207	-2266	750	-2132
240158,688	1135900,25	LSJ2235	-1513	557	-1461
245503,312	1132233,25	LSJ2242	-1932	702	-1964
243536,547	1130788	LSJ2247	-2308	765	-2184
243717,188	1131155,125	LSJ2253	-2204	755	-2146
239537,891	1136987,5	LSJ2265	-1358	527	-1357
242428,844	1131540,875	LSJ2273	-2201	746	-2115
242778,219	1131317,75	LSJ2279	-2225	752	-2137
242992,297	1130949,75	LSJ2284	-2280	760	-2165
239832,406	1136574,125	LSJ2299	-1434	548	-1431
240693,984	1135437,25	LSJ2321	-1571	582	-1549
240172,203	1136687	LSJ2336	-1410	548	-1430
243608,391	1131452	LSJ2384	-2189	746	-2117
240133,797	1137505,25	LSJ2407	-1002	514	-1313
242487,016	1131934	LSJ2419	-2130	733	-2071
241705,203	1131667,5	LSJ2422	-2206	741	-2099
242129,953	1131844,75	LSJ2425	-2161	735	-2079
240546,656	1135819	LSJ2426	-1523	565	-1488
242288,875	1132284,375	LSJ2430	-2078	718	-2019
243222,344	1130138,25	LSJ2431	-2400	774	-2214
242514,922	1130299,875	LSJ2432	-2414	755	-2146
243580,656	1131775,75	LSJ2437	-2114	736	-2082
243183,188	1130611,625	LSJ2441	-2325	766	-2187
242735,344	1131643	LSJ2444	-2185	743	-2106
243056,438	1131584,5	LSJ2447	-2172	744	-2110
242407,875	1130715,875	LSJ2454	-2338	758	-2157
243490,25	1130416,875	LSJ2463	-2346	774	-2214
241799,469	1132245,875	LSJ2470	-2104	718	-2020
241666,812	1132998,375	LSJ2506	-1961	675	-1872
240701,781	1135417,75	LSJ2512	-1575	583	-1552
243892,312	1137953,75	LSJ2527	-1183	457	-1113
240166,703	1135880	LSJ2530	-1509	558	-1463
241149,594	1133652,75	LSJ2538	-1860	647	-1775
241459,844	1135841,75	LSJ2559	-1512	573	-1516
240195,531	1136680	LSJ2564	-1415	548	-1430
241142,438	1133636,25	LSJ2581	-1859	648	-1776
241200,656	1131960,875	LSJ2586	-2160	730	-2062

241929,156	1132644,875	LSJ2594	-2023	697	-1947
242685,25	1132285,75	LSJ2597	-2065	720	-2025
240361,891	1135417,75	LSJ2603	-1586	577	-1530
241120,234	1136797,625	LSJ2608	-1384	545	-1418
242500,719	1132996,125	LSJ2609	-1951	685	-1904
240366,828	1136261,375	LSJ2611	-1455	551	-1439
242114,125	1140855	LSJ3163	-688	328	-668
244082,438	1136449,25	LSJ3169	-1396	533	-1379
244479,094	1135985,25	LSJ3190	-1592	542	-1410
242311,594	1140493,625	LSJ3240	-746	358	-771
241611,219	1135656,5	LSJ3326	-1534	577	-1532
245476,203	1135167,875	LSJ3368	-1521	558	-1463
242092,188	1140618,875	LSJ3570	-745	347	-735
245905,516	1132461,25	LSJ3653	-1853	688	-1916
241721,734	1140395,75	LSJ4459	-786	370	-814
241308,766	1140164	LSJ4469	-866	394	-896
242514,078	1140848,75	LSJ4566	-658	334	-689
242714,891	1140962,875	LSJ4596	-648	331	-677
240703,688	1139825,875	LSJ4600	-1006	428	-1015
240305,109	1139592,75	LSJ4968	-1000	447	-1081
240103,656	1139478,75	LSJ4980	-1052	448	-1082
245432,875	1143312,125	SONLSE0	-173	182	-162
242372,656	1142811,625	SONLSE0	-236	222	-301
241121,656	1142129,625	SONLSJ0	-454	255	-416
240321,688	1142135,125	SONLSJ0	-507	270	-468
240728,938	1142821,75	SONLSJ0	-324	218	-288
239902,031	1141967,5	SONLSJ0	-648	298	-562
243549,391	1142732,375	SONLSE0	-180	252	-405
251691,438	1139194,25	LSE4465	-125	234	-341
253277,266	1134770	LSE5189	-775	359	-776
249147,109	1142074,625	LSE5096	-132	188	-184
252674,406	1136034	SONLSE0	-627	328	-666
253304	1135664	SONLSE0	-641	336	-697
253671,906	1134071,75	LSE5500	-833	409	-947
246525,188	1142169,25	LSE5528	-313	214	-271
246925,375	1142172,5	LSE5546	-285	203	-235
253673,297	1134303,25	LSE5539	-853	398	-911
259101,031	1123148,25	SLS0003	-1391	641	-1752
253428,203	1123383,5	LS0983	-2514	894	-2631
253621,516	1122603	LS3855	-2667	936	-2775
255647,562	1125791,625	LS4000	-2017	674	-1867
256409,453	1120704,25	LS0841	-2600	912	-2692
256606,859	1120356,25	LS0843	-2616	922	-2728
256411,641	1120935,375	LS0847	-2564	901	-2655
255813,016	1121286,75	LS0849	-2613	913	-2694
256608,422	1120817,25	LS0851	-2554	899	-2648
256012,453	1121169,375	LS0853	-2604	908	-2678
256414,734	1121398,375	LS0861	-2487	881	-2584
256009,312	1120707	LS0862	-2680	928	-2748
256215,016	1121514,375	LS0918	-2490	884	-2594
257999,625	1119306,25	LS0937	-1628	835	-2425
255209,812	1120712,75	LS1926	-2772	968	-2885

255116,406	1120350,125	LS2043	-2840	987	-2953
256415,938	1119990,125	LS2061	-2715	945	-2806
256796,562	1119317,75	LS2085	-2753	956	-2843
255238,016	1120474,375	LS2397	-2688	977	-2918
256815,156	1119986,75	LS2502	-2868	929	-2750
257039,562	1120293,25	LS2541	-2636	895	-2633
256629,938	1120123,625	LS2920	-2639	932	-2763
257206,766	1120440,75	LS2932	-2652	868	-2541
256802,859	1119777,125	LS2974	-2637	938	-2783
256619,906	1119919	LS3003	-2694	942	-2795
256832,266	1119758,125	LS3005	-2755	937	-2779
257408,578	1120581,25	LS3034	-2370	832	-2415
251298,562	1130913,25	LSE1838	-1609	596	-1597

**ÍNDICE 3.4 Valores de profundidad obtenida a partir de la función generada de velocidad correspondiente al Miembro Bachaquero**

<b>(UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>POZOS</b>	<b>TVDSS</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Prof. Calculada</b>
56409	1120704	LS 0841	-1964	725	-1976
56607	1120356	LS 0843	-1992	732	-1998
56412	1120935	LS 0847	-1924	716	-1948
55813	1121287	LS 0849	-1947	710	-1928
56608	1120817	LS 0851	-1947	718	-1955
56012	1121169	LS 0853	-1938	711	-1932
56415	1121398	LS 0861	-1840	697	-1888
56009	1120707	LS 0862	-2023	733	-2003
56206	1120359	LS 0865	-2047	743	-2034
56215	1121514	LS 0918	-1873	690	-1863
53428	1123384	LS 0983	-1837	684	-1845
53428	1123383	LS 0983	-1837	684	-1845
55210	1120713	LS 1926	-2081	759	-2084
55116	1120350	LS 2043	-2145	778	-2144
56416	1119990	LS 2061	-2078	751	-2060
56797	1119318	LS 2085	-2115	774	-2131
55238	1120474	LS 2397	-2084	769	-2115
56815	1119987	LS 2502	-2023	738	-2017
57040	1120293	LS 2541	-1934	720	-1959
57242	1120639	LS 2698	-1840	701	-1901
56630	1120124	LS 2920	-2021	739	-2020
57207	1120441	LS 2932	-1886	710	-1927
56803	1119777	LS 2974	-2027	747	-2047
53265	1123089	LS 2995	-1915	704	-1909
57438	1120581	LS 3001	-1874	696	-1884
56620	1119919	LS 3003	-2086	747	-2047
56832	1119758	LS 3005	-2053	747	-2047
57409	1120581	LS 3034	-1823	697	-1888
56655	1124766	LS 3827	-1445	532	-1361
57074	1123348	LS 3848	-1420	575	-1497
53622	1122603	LS 3855	-1967	716	-1949
56854	1122820	LS 3859	-1589	625	-1656
56656	1124073	LS 3911	-1492	563	-1459
56474	1124387	LS 3936	-1500	559	-1448
55461	1125466	LS 3969	-1479	551	-1421
54864	1125819	LS 3982	-1475	546	-1405
55648	1125792	LS 4000	-1408	522	-1329
55863	1124063	LS 4094	-1624	604	-1589
57076	1123593	LS 4130	-1412	559	-1447
56678	1123367	LS 4136	-1567	602	-1585
58010	1120948	LS 4255	-1638	627	-1664
56851	1125307	LS 4856	-1251	498	-1254
56512	1120193	LS 5117	-2046	740	-2025
56072	1120195	LS 5121	-2096	754	-2070
56141	1120050	LS 5123	-2116	758	-2081
56205	1120681	LS 5169	-2003	730	-1991
50691	1130126	LSE0285	-1263	484	-1207
50123	1131126	LSE0801	-1149	454	-1113

49113	1132913	LSE0948	-1007	422	-1011
48268	1133760	LSE0954	-1013	417	-993
52488	1129766	LSE1222	-1137	447	-1089
46479	1135509	LSE1245	-825	386	-894
45303	1138986	LSE1255	-500	252	-469
46508	1139665	LSE1260	-323	199	-300
45323	1141759	LSE1262	-131	140	-112
47122	1141399	LSE1264	-148	145	-126
47693	1137578	LSE1265	-552	273	-536
49491	1137219	LSE1269	-431	240	-431
50483	1135485	LSE1270	-568	290	-588
48879	1135493	LSE1271	-676	338	-741
48902	1138269	LSE1283	-276	207	-324
50105	1138948	LSE1291	-220	148	-135
52306	1132194	LSE1301	-802	347	-772
51668	1133398	LSE1305	-697	331	-720
51075	1134443	LSE1309	-632	313	-664
47497	1137927	LSE1317	-522	260	-495
53074	1133735	LSE1318	-469	262	-498
54108	1131832	LSE1321	-666	325	-701
52082	1135469	LSE1328	-377	216	-354
51695	1130464	LSE1347	-1111	439	-1063
54090	1129748	LSE1365	-958	405	-955
51306	1138938	LSE1386	-54	123	-57
48113	1139660	LSE1390	-325	170	-208
46299	1138632	LSE1405	-468	251	-464
49887	1129430	LSE1429	-1425	523	-1331
48870	1134111	LSE1492	-871	395	-924
45693	1137593	LSE1587	-647	305	-636
51299	1130913	LSE1838A	-1102	430	-1035
48504	1131866	LSE2238	-1208	469	-1161
45337	1137623	LSE2533	-669	307	-642
44172	1139336	LSE2780	-476	255	-476
52288	1129653	LSE3227	-1171	456	-1120
49301	1138492	LSE3672	-211	186	-257
44098	1139436	LSE3841	-459	251	-465
44709	1139797	LSE3964	-428	223	-376
45915	1140483	LSE3975	-334	172	-213
45315	1140135	LSE3984	-367	197	-291
43919	1141417	LSE4129	-111	159	-172
44521	1141760	LSE4226	-84	141	-115
46519	1140823	LSE4516	-249	157	-164
53688	1135198	LSE4525	-308	197	-291
47337	1141255	LSE4540	-142	145	-128
47921	1141634	LSE4779	-20	136	-97
53277	1134770	LSE5189	-372	214	-347
53672	1134072	LSE5500	-424	263	-504
46525	1142169	LSE5528	-42	140	-110
53673	1134303	LSE5539	-453	251	-464
46925	1142173	LSE5546	-35	137	-103
41560	1133821	LSJ0324	-1233	503	-1269
41411	1134853	LSJ0333	-1069	478	-1188

41080	1135893	LSJ0337	-944	423	-1014
42463	1133456	LSJ0341	-1276	506	-1278
42671	1134495	LSJ0344	-1110	465	-1147
43107	1132941	LSJ0354	-1265	514	-1305
44087	1136911	LSJ0360	-885	353	-789
42500	1131907	LSJ0363	-1442	559	-1446
39905	1137978	LSJ0367	-566	305	-637
38901	1139025	LSJ0371	-692	293	-599
40916	1135389	LSJ0463	-1023	457	-1121
41370	1133270	LSJ0466	-1286	520	-1322
39984	1136120	LSJ0467	-890	428	-1030
40918	1132340	LSJ0516	-1434	561	-1453
41358	1131849	LSJ0532	-1526	572	-1488
42077	1134150	LSJ0533	-1171	489	-1223
41490	1137279	LSJ0558	-763	350	-780
39502	1136973	LSJ0625	-807	377	-866
39924	1137106	LSJ0634	-834	384	-888
40393	1137121	LSJ0642	-825	383	-885
41582	1131247	LSJ0651	-1623	590	-1545
42000	1130721	LSJ0682	-1598	600	-1578
42479	1136230	LSJ0763	-862	370	-844
41483	1136815	LSJ0772	-830	368	-839
40490	1137626	LSJ0789	-784	344	-761
44864	1133441	LSJ0808	-1252	478	-1190
46667	1133774	LSJ0953	-1161	440	-1067
43086	1136802	LSJ1060	-779	329	-712
43075	1135880	LSJ1062	-864	386	-895
41723	1137183	LSJ1067	-765	343	-757
43487	1136799	LSJ1068	-781	341	-752
40892	1137857	LSJ1072	-713	343	-757
42092	1137617	LSJ1073	-717	319	-681
43476	1135876	LSJ1075	-886	390	-908
43278	1135994	LSJ1080	-867	381	-879
41695	1138082	LSJ1097	-648	315	-669
40489	1137396	LSJ1123	-802	362	-820
42475	1135540	LSJ1125	-956	414	-983
41299	1139012	LSJ1165	-565	273	-536
44303	1132241	LSJ1175	-1345	523	-1331
44083	1134111	LSJ1189	-1084	463	-1142
43290	1138997	LSJ1196	-431	282	-562
44687	1135874	LSJ1203	-1008	396	-926
42295	1138427	LSJ1232	-584	298	-616
42506	1139697	LSJ1253	-338	256	-482
42903	1139693	LSJ1259	-372	260	-492
43296	1138537	LSJ1261	-473	293	-599
40299	1138901	LSJ1263	-548	275	-542
41110	1140050	LSJ1267	-476	217	-356
42094	1141074	LSJ1268	-118	182	-246
42910	1138769	LSJ1278	-516	291	-592
41699	1139009	LSJ1279	-536	280	-557
41504	1139350	LSJ1280	-489	259	-491
40107	1140398	LSJ1285	-567	193	-281

139254	1137352	LSJ2113	-806	352	-786
140811	1133873	LSJ2131	-1218	506	-1277
141282	1131509	LSJ2155	-1567	582	-1521
140758	1133164	LSJ2162	-1303	530	-1356
142818	1130058	LSJ2166	-1700	610	-1608
140570	1134689	LSJ2180	-1119	477	-1186
144096	1131820	LSJ2182	-1465	541	-1390
142054	1131348	LSJ2207	-1537	586	-1533
140159	1135900	LSJ2235	-925	434	-1047
145503	1132233	LSJ2242	-1329	509	-1288
143537	1130788	LSJ2247	-1601	587	-1535
143717	1131155	LSJ2253	-1531	571	-1486
139538	1136988	LSJ2265	-821	378	-870
142429	1131541	LSJ2273	-1517	574	-1496
142778	1131318	LSJ2279	-1547	580	-1512
142992	1130950	LSJ2284	-1605	589	-1544
139832	1136574	LSJ2299	-875	412	-977
140694	1135437	LSJ2321	-1004	451	-1104
140172	1136687	LSJ2336	-864	408	-967
143608	1131452	LSJ2384	-1495	562	-1457
142487	1131934	LSJ2419	-1493	558	-1443
141705	1131668	LSJ2422	-1567	576	-1500
142130	1131845	LSJ2425	-1524	565	-1466
140547	1135819	LSJ2426	-935	434	-1047
142289	1132284	LSJ2430	-1438	547	-1410
143222	1130138	LSJ2431	-1650	608	-1602
142515	1130300	LSJ2432	-1703	603	-1587
143581	1131776	LSJ2437	-1430	550	-1418
143183	1130612	LSJ2441	-1593	597	-1567
142735	1131643	LSJ2444	-1503	567	-1471
143056	1131585	LSJ2447	-1511	565	-1466
142408	1130716	LSJ2454	-1629	599	-1575
143490	1130417	LSJ2463	-1622	598	-1571
141799	1132246	LSJ2470	-1437	554	-1432
141667	1132998	LSJ2506	-1361	528	-1348
140702	1135418	LSJ2512	-1013	453	-1108
143892	1137954	LSJ2527	-633	304	-635
140167	1135880	LSJ2530	-934	434	-1049
141150	1133653	LSJ2538	-1241	509	-1288
141460	1135842	LSJ2559	-941	417	-994
140196	1136680	LSJ2564	-858	409	-967
141142	1133636	LSJ2581	-1244	510	-1290
141201	1131961	LSJ2586	-1516	570	-1482
141929	1132645	LSJ2594	-1393	539	-1382
142685	1132286	LSJ2597	-1394	543	-1395
140362	1135418	LSJ2603	-991	443	-1077
141120	1136798	LSJ2608	-813	383	-886
142501	1132996	LSJ2609	-1317	520	-1324
140367	1136261	LSJ2611	-891	421	-1006
142114	1140855	LSJ3163	-189	192	-276
144082	1136449	LSJ3169	-821	374	-857
144479	1135985	LSJ3190	-1028	392	-914

42312	1140494	LSJ3240	-237	211	-338
41611	1135657	LSJ3326	-983	424	-1018
45476	1135168	LSJ3368	-941	421	-1007
42092	1140619	LSJ3570	-261	203	-312
45906	1132461	LSJ3653	-1226	497	-1251
41722	1140396	LSJ4459	-381	210	-335
41309	1140164	LSJ4469	-445	214	-348
42514	1140849	LSJ4566	-266	191	-274
42715	1140963	LSJ4596	-279	184	-253
40704	1139826	LSJ4600	-558	223	-376
40305	1139593	LSJ4968	-553	234	-410
40104	1139479	LSJ4980	-595	242	-437
59101	1123148	SLS0003	-792	395	-923
56847	1126544	SLS0006	-1191	457	-1122
52674	1136034	SONLSE0017	-248	195	-287
53304	1135664	SONLSE0018	-271	189	-268
41122	1142130	SONLSJ0005	-191	147	-133
40322	1142135	SONLSJ0007	-219	146	-131
40729	1142822	SONLSJ0008	-73	132	-84
39902	1141968	SONLSJ0009	-314	160	-175

**APÉNDICE 4.1 Lista de espesores de arenas para los mapas ET, AN, ANT y ANP**

<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>POZOS</b>	<b>ET</b>	<b>AN</b>	<b>ANT</b>	<b>ANP</b>
256.221	1.119.688	LS1444	798	724	698	507
257.220	1.119.334	LS1458	763	596	576	434
255.819	1.118.998	LS1975	861	645	626	467
254.025	1.120.046	LS1978	731	396	375	255
255.295	1.120.035	LS2006	828	439	403	266
256.621	1.119.685	LS2051	814	720	699	576
256.633	1.118.965	LS2510	773	616	579	341
257.243	1.119.995	LS2569	826	584	532	347
257.610	1.120.034	LS2818	824	622	594	404
256.208	1.119.891	LS2977	769	538	506	337
256.621	1.119.480	LS2979	824	606	561	276
251.013	1.122.864	LS2010	1094	436	395	222
251.431	1.122.130	LS2021	1059	502	470	308
257.254	1.124.183	LS2057	758	400	281	71
256.436	1.120.012	LS2061	799	650	624	483
255.826	1.120.384	LS2069	824	497	469	315
249.507	1.124.947	LS2119	1025	373	321	157
252.618	1.121.104	LS2256	998	478	455	207
256.836	1.120.009	LS2502	768	645	633	480
257.405	1.118.286	LS2520	1021	889	840	544
251.704	1.122.392	LS2551	1063	384	351	218
253.431	1.118.834	LS2587	1069	611	539	182
255.031	1.121.761	LS2817	831	464	441	260
256.423	1.119.801	LS2886	800	588	545	237
258.437	1.121.386	LS4200	716	639	619	378
255.861	1.125.483	LS4235	663	527	472	287
258.224	1.121.248	LS4239	709	560	511	347
256.256	1.120.113	LS4364	776	478	445	196
255.356	1.119.907	LS4838	786	411	386	270
256.072	1.120.195	LS5121	790	520	503	403
256.205	1.120.681	LS5169	756	503	468	336
256.381	1.113.560	LS5213	1083	466	424	236
256.301	1.120.428	LS5122	794	495	471	348
250.691	1.130.126	LSE0285	946	491	443	181
250.123	1.131.126	LSE0801	999	317	282	57
249.113	1.132.913	LSE0948	1035	321	255	47
248.268	1.133.760	LSE0954	989	223	194	25
252.488	1.129.766	LSE1222	935	395	327	23
246.479	1.135.509	LSE1245	1093	276	234	66
245.303	1.138.986	LSE1255	1046	633	555	86
246.508	1.139.666	LSE1260	1014	673	568	160
245.323	1.141.759	LSE1262	1010	730	699	244
247.122	1.141.399	LSE1264	938	598	565	235
247.693	1.137.578	LSE1265	915	367	295	144
249.491	1.137.219	LSE1269	910	303	256	92
250.483	1.135.485	LSE1270	872	320	277	133
248.879	1.135.493	LSE1271	932	504	393	145
248.902	1.138.269	LSE1283	819	573	498	238

250.105	1.138.948	LSE1291	779	464	429	141
252.306	1.132.194	LSE1301	858	430	392	210
251.668	1.133.398	LSE1305	943	466	427	201
251.075	1.134.443	LSE1309	865	410	369	121
247.497	1.137.927	LSE1317	902	385	254	84
253.074	1.133.735	LSE1318	924	381	361	236
254.108	1.131.833	LSE1321	816	318	296	158
252.082	1.135.469	LSE1328	872	361	331	188
251.695	1.130.464	LSE1347	953	241	220	131
254.090	1.129.748	LSE1365	1000	460	417	133
251.306	1.138.938	LSE1386	769	491	413	119
248.113	1.139.660	LSE1390	825	391	307	166
246.299	1.138.632	LSE1405	1008	417	350	145
249.326	1.140.320	LSE1411	722	255	239	133
256.790	1.133.103	LSE1414	799	201	155	0
249.887	1.129.430	LSE1429	1021	296	253	65
248.870	1.134.111	LSE1492	980	417	400	266
248.504	1.131.866	LSE2238	946	280	247	53
245.337	1.137.623	LSE2533	1111	608	458	183
244.172	1.139.336	LSE2780	1149	186	92	0
249.301	1.138.492	LSE3672	820	474	397	189
253.688	1.135.198	LSE4525	788	391	318	111
253.277	1.134.770	LSE5189	888	629	626	601
246.525	1.142.169	LSE5528	948	731	709	473
246.925	1.142.173	LSE5546	914	719	693	498
241.560	1.133.821	LSJ0324	1274	446	410	218
241.411	1.134.853	LSJ0333	1260	440	376	148
241.080	1.135.893	LSJ0337	1245	404	352	245
242.463	1.133.456	LSJ0341	1255	423	369	114
242.671	1.134.495	LSJ0344	1214	393	357	211
243.107	1.132.941	LSJ0354	1324	519	461	194
244.087	1.136.911	LSJ0360	1249	451	393	189
242.500	1.131.907	LSJ0363	1362	478	426	143
239.905	1.137.978	LSJ0367	1225	257	186	38
238.901	1.139.025	LSJ0371	1113	235	195	67
241.370	1.133.270	LSJ0466	1305	466	418	172
239.984	1.136.120	LSJ0467	1280	373	342	192
240.918	1.132.340	LSJ0516	1343	399	358	170
241.358	1.131.850	LSJ0532	1338	328	212	55
242.077	1.134.150	LSJ0533	1267	580	449	162
241.490	1.137.279	LSJ0558	1230	454	398	176
239.502	1.136.973	LSJ0625	1238	113	54	8
240.393	1.137.121	LSJ0642	1231	195	176	108
241.582	1.131.247	LSJ0651	1348	421	363	121
242.000	1.130.721	LSJ0682	1429	774	598	219
242.479	1.136.230	LSJ0763	1238	354	306	166
241.483	1.136.815	LSJ0772	1296	367	304	139
240.490	1.137.626	LSJ0789	1220	155	110	46
244.864	1.133.441	LSJ0808	1127	383	349	148
246.667	1.133.774	LSJ0953	1136	170	125	34
241.723	1.137.183	LSJ1067	1206	195	135	18
243.487	1.136.799	LSJ1068	1144	201	166	41

243.476	1.135.876	LSJ1075	1131	300	271	132
243.278	1.135.994	LSJ1080	1150	280	225	80
242.475	1.135.540	LSJ1125	1215	256	209	81
244.303	1.132.241	LSJ1175	1278	263	236	57
244.687	1.135.874	LSJ1203	1088	235	189	27
242.506	1.139.697	LSJ1253	1236	434	330	79
242.903	1.139.693	LSJ1259	1174	471	362	150
243.296	1.138.537	LSJ1261	1186	436	351	120
240.299	1.138.901	LSJ1263	1298	177	107	10
241.110	1.140.050	LSJ1267	1134	364	221	96
240.811	1.133.873	LSJ2131	1264	421	378	207
241.282	1.131.509	LSJ2155	1354	187	156	57
240.758	1.133.164	LSJ2162	1364	366	330	126
242.818	1.130.058	LSJ2166	1380	199	173	38
240.570	1.134.689	LSJ2180	1259	229	197	125
244.096	1.131.820	LSJ2182	1241	266	225	68
242.054	1.131.348	LSJ2207	1384	246	223	47
245.503	1.132.233	LSJ2242	1174	325	276	106
243.537	1.130.788	LSJ2247	1351	291	245	107
243.717	1.131.155	LSJ2253	1329	313	273	86
239.538	1.136.988	LSJ2265	1210	18	10	0
242.429	1.131.541	LSJ2273	1341	335	285	133
242.778	1.131.318	LSJ2279	1335	326	257	32
242.992	1.130.950	LSJ2284	1338	224	168	18
239.832	1.136.574	LSJ2299	1248	127	85	18
240.694	1.135.437	LSJ2321	1245	250	235	131
240.172	1.136.687	LSJ2336	1210	178	137	36
243.608	1.131.452	LSJ2384	1324	245	191	30
240.134	1.137.505	LSJ2407	1222	209	146	51
242.487	1.131.934	LSJ2419	1333	269	216	41
241.705	1.131.668	LSJ2422	1321	287	240	92
242.130	1.131.845	LSJ2425	1296	310	260	76
240.547	1.135.819	LSJ2426	1254	360	306	127
242.289	1.132.285	LSJ2430	1303	256	219	38
243.222	1.130.138	LSJ2431	1389	363	281	50
242.515	1.130.300	LSJ2432	1367	285	262	121
243.581	1.131.776	LSJ2437	1337	518	473	260
242.735	1.131.643	LSJ2444	1333	341	306	189
243.056	1.131.585	LSJ2447	1319	351	330	194
242.408	1.130.716	LSJ2454	1381	317	275	129
243.490	1.130.417	LSJ2463	1369	233	191	112
241.799	1.132.246	LSJ2470	1329	249	219	109
241.667	1.132.998	LSJ2506	1268	489	427	211
240.702	1.135.418	LSJ2512	1236	471	411	251
243.892	1.137.954	LSJ2527	1222	424	306	81
241.150	1.133.653	LSJ2538	1297	501	453	245
241.460	1.135.842	LSJ2559	1243	610	526	297
241.142	1.133.636	LSJ2581	1292	355	312	170
241.201	1.131.961	LSJ2586	1324	55	834	142
241.929	1.132.645	LSJ2594	1290	413	356	167
242.685	1.132.286	LSJ2597	1338	463	377	155
240.362	1.135.418	LSJ2603	1273	432	378	191

240.367	1.136.261	LSJ2611	1229	251	240	97
244.082	1.136.449	LSJ3169	1216	315	256	158
244.479	1.135.985	LSJ3190	1058	294	259	141
241.611	1.135.657	LSJ3326	1231	395	347	216