

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN EXPLORATORIA DEL ÁREA DE GUARAPICHE
DELTA DEL ORINOCO**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Sánchez R, Natalia M .J
Para optar al Título
de Ingeniero Geofísico

Caracas, febrero 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN EXPLORATORIA DEL ÁREA DE GUARAPICHE DELTA DEL ORINOCO

TUTOR ACADÉMICO: Ing. José Luis Perdomo
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Pedro León
COTUTOR INDUSTRIAL: Ing. Attila Skrzypczak

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Sánchez R, Natalia M .J
Para optar al Título
de Ingeniero Geofísico

Caracas, febrero 2006

Caracas, 13 febrero 2006

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Natalia Sánchez, titulado:

“Evaluación exploratoria del área de Guarapiche – Delta del Orinoco”

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

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. José Luis Perdomo
Tutor Académico

Prof. Pedro León
Tutor Industrial

*Dedico este trabajo a cada una de las personas
y seres que han dejado de alguna manera
huellas importantes en mi vida!!*

*En especial a un gran hombre
Attila Skrzypczak, quién estuvo en
todo momento, enseñándome
que la vida es más simple de
lo que nos imaginamos y
tan difícil como uno
lo desea...*

AGRADECIMIENTOS

A mi único Padre e incondicional amigo, Diosito, por cada minuto de vida, por guiarme cada día, por darme lucidez en los momentos difíciles, por ser mi mejor confidente, y porque siempre me demuestras que tu nunca me abandonas!!!

A mi amada Universidad, de la cual me siento orgullosa de haber pertenecido, creo que no hay palabras para agradecer todo los magníficos momentos y recuerdos que me llevo de ti, por la oportunidad de darme una carrera, grandes amigos y maestros, y sobretodo la dicha de que siempre serás mi segundo hogar!!! Siempre llevare en alto que soy Ucevista!!!!!!!!!!!!!!

A mis tutores a quienes admiro muchísimo, quiero y por siempre agradeceré su ayuda, porque aún más de ser muy buenos profesionales son excelentes personas. Prof. José Luís Perdomo, gracias por su tiempo, su experiencia y su cariño en la elaboración de mi tesis y por aceptarme y quererme como su alumna, preparadora y tesista!!!. Prof. Pedro León, muchísimas gracias por cumplir su promesa de darme un tema de tesis dentro de la empresa, por creer en mí y darme esta oportunidad, espero jamás defraudarlo!!! Ing. Attila Skrzypczak, gracias por todo el tiempo dedicado, por su cariño y apoyo en todo momento, sin Ud. no hubiese podido realizar este trabajo. Una y mil veces más, un millón de Gracias!!! Dios me permita ser como Uds. cuando sea Grande!!!!!!

A mi familia, en especial a mi madre, quién con tanta dedicación y constancia siempre ha estado ahí a mi lado, ayudándome a levantarme cuando más lo he necesitado, aconsejándome en todo momento para lograr de mi una persona de bien. A mis hermanos Sandra y Cristopher, mis mejores aliados y compañeros!!!, a quienes amo y han sido siempre mi mayor fuente de apoyo. A Alfred y a Brownie aunque ya no los pueda tener conmigo, siempre los recordaré porque serán parte de mi pequeña pero gran familia. Nunca olviden que nada de esto hubiese sido posible, porque son la mayor razón de mis logros!!!! Los amo!!!

A mi Ávila querido, quién me ha acompañado en los tres últimos años de mi carrera, siendo guardián de mis sueños y refugio de mis tristezas, regalándole a mi vida paz y serenidad!!!!

No podían faltar mis amigos, mis verdaderos amigos Dahiana Yépez (eres una hermana más, gracias por entenderme y conocerme como nadie!!!), Krystal Sawaya (sawayin) (mi amiga VIP para todo!!! y con la que he vivido las mejores aventuras!!!), Karen Delgado (karencia) (no es necesario que te pida que me ayudes, tu siempre estas ahí, eres incondicional!!!), Greysy Terán (creysy) (amiga gracias por apoyarme y acompañarme en momentos difíciles), Alexander Ordoñez (ale) (otro hermanito más y mi gran confidente) y Jorge Crespo (siempre le das soluciones a mis problemas y me apoyas sea cual sea la decisión!!!), Uds. han hecho de este camino una de las mejores aventuras, apoyándome y ayudándome incondicionalmente, aguantándome en todo momento, inventando siempre una salida a cualquier situación por muy grande o pequeña que fuese, con tal de hacerla la mejor de las experiencias. Mis amigos todo terreno, de rumbas, locuras, inventos, estudios, sueños y tristezas. Sin duda son los mejores compañeros de camino!!!!!!!!!!!!!! Los quiero demasiado y son la familia que yo escogí!!!!!!!!!!!!!!

A la Sra. Morella Mikati y a mi Padrino (Eduardo) millllll graciassss!!!!!! por su inmensa ayuda en lograr la culminación de mi carrera!!!!!!!!!! por todo el cariño dado desde que entre a la escuela, por orientarme y facilitarme todas las

herramientas que necesité para aprobar las materia, haciendo de la biblioteca mi lugar preferido!! y sin duda el más acogedor!! Siempre me harán falta!!!!

Al Ing. Carlos Giraldo fue para mi un orgullo que Ud me ayudara tanto y a la vez estuviera tan pendiente de mi trabajo y sin conocerme, espero que la vida me regale la dicha de trabajar ceca de Ud. Siempre le estaré agradecida!!!!

Andrés Otero gracias por darme la oportunidad de conocerte, dándole a mis día ilusiones y alegrías!! Siempre serás mi mejor recuerdo de la universidad!!

De igual manera agradezco a Julio Lugo (por ayudarme cuando más pérdida he estado, por tu amistad, e incansable compañero de carrera), Werner Hilla (compañero de carrera que sin darme cuenta siempre ha estado ahí, acompañándome), Israel Graterol (mi mejor compañero de trabajos), así como amigos y excelentes compañeros de carrera que han estado todo este tiempo conmigo!!!! Jhon Torres (el que siempre me pone elegante!!), Irma Chiara (mi amiga A1!! y del Ávila!!), Diana De Ponte (mi comadre de marchas!!!), Jesús León (si es muerto, pues que sea en Choróní!!), Leonardo Palop (gracias por ofrecerme siempre tu incondicional ayuda!!), así como a Oscar Guzmán, Eduin Amaris, y Carolina Rodríguez.

No podían faltar mis nuevos amigos de oficina (también todo terreno)!!!! quienes hicieron que estos 9 meses los disfrutara al máximo!!! Fue muy bueno estar con Uds!!! Verónica Carmona (que bueno que compartas mi sueño de vender cadenas en la playa!!! llegaremos lejos!!), Alber Molina (mi más fiel compañero de los chinos de Altamira!!!), Adrián Vargas (el que siempre resuelve mis dudas geológicas!!! me lleva pa´Caracas!! y sube conmigo al Ávila!!) Tatiana Rodríguez (empezamos juntas en la escuela y estuvimos juntas a final!!!) y José Bryson (gracias por tus muy oportunas palabras, cuando las necesite!!!).

También agradezco inmensamente a varios profesores que con su ejemplo me han enseñado a valorar y amar mi profesión, recordándome siempre que para ser buen geofísico hay que ser buen geólogo: Prof. Orlando Méndez, Prof. Marcos Figueroa y Prof. Alfonso Benavides. Así como la colaboración de los Profesores Ricardo Alezones, Rafael Falcón y Franck Audemard, quienes me regalaron minutos de su tiempo para tratar de entender el mágico mundo de la geología!!!

Finalmente y no menos importante agradezco al personal de PDVSA-Intevep, en especial a la Ing. Karnele León (fue como una madre en la empresa, la quiero y admiro mucho), Jimmy Arenas (que bueno fue conocerte!! gracias por tu constante apoyo), Lisbeth Polidor (como te fastidieeee con la data!! Pero al final siempre lo resolvías), José Rodríguez (Jose gracias por tu buen humor y ayuda!!!) Reinaldo Figuera (gracias por la buena música y atención!!), Freddy Sojo (gracias por la mil colas pa´Caracas y las cien mil entretenidas charlas!!) y Mauricio Hernández mi prepa maravilla!! (gracias por tu cariño, tus interesantes charlas y el curso de estratigrafía!!).

Así como al Ing. William Rodríguez, Leonardo Duerto, Jorge Díaz e Ing. Humberto Sánchez, por su inmensa colaboración en el desarrollo de mi tesis!!!! Muchas gracias!!!!

A todos Uds gracias por ser parte importante de este ciclo de mi vida!!!! Dios los cuide y los bendiga; y a mi me regale la dicha de tenerlos cerca de mi por mucho tiempo más, los quiere y por siempre estaré agradecida!!!

Natalia Sánchez R.

INDICE

Página

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos Generales.....	2
1.4 Objetivos Específicos.....	2
1.5 Ubicación del área de estudio.....	2
1.6 Justificación.....	3
1.7 Información digital disponible.....	4
1.7.1 Área Guanipa.....	4
1.7.2 Área Abatuco	4
1.7.3 Área Guarapiche.....	4
1.7.4 Registros de pozos.....	5
1.8 Trabajos Previos.....	6

CAPITULO 2: MARCO GEOLÓGICO

2.1 Cuenca Oriental de Venezuela.....	9
2.2 Evolución Geodinámica de la cuenca Oriental de Venezuela.....	10
2.3 Subcuenca de Maturín.....	11
2.3.1 Provincia Compresional.....	11
2.3.2 Provincia de Deformación Frontal.....	12
2.3.3 Provincia Extensional	13
2.3.4 Deltas.....	13
2.3.5 Estilo estructural y estratigráfico del área de Guarapiche.....	14

CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Interpretación Sísmica 3D.....	19
3.1.1 Proceso de Interpretación Sísmica 3D.....	19
3.2 Atributo Sísmico.....	20
3.2.1 Atributo de Amplitud.....	21
3.2.2 Atributo de Fase.....	22
3.2.3 Atributo de Frecuencia.....	22
3.2.4 Atributo de Coherencia.....	22
3.2.5 Atributo Amplitud / $\sqrt{\text{Frecuencia}}$	23

CAPITULO 4: INTERPRETACIÓN SÍSMICA

4.1 Introducción.....	24
4.2 Metodología.....	25
4.3 Correlación de la información sísmica con pozos.....	25
4.4 Horizontes seleccionados.....	25
4.4.1 Guanipa 3D.....	25
4.4.2 Abatuco 3D.....	26
4.4.3 Guarapiche 2D.....	27
4.5 Interpretación sísmica de los estilos estructurales y estratigráficos.....	28
4.5.1 Guanipa 3D.....	28
4.5.2 Relación arena - lutita del pozo A-1X en el área de Guanipa.....	29
4.5.3 Secciones sísmicas de Guanipa 3D.....	30
4.5.4 Abatuco 3D.....	34
4.5.5 Relación arena - lutita del pozo A-2X en el área de Abatuco.....	35
4.5.6 Secciones sísmicas de Abatuco 3D.....	37
4.5.7 Guarapiche 2D.....	41
4.6 Tiempos de deformación y depositación.....	43
4.7 Mapas estructurales en tiempo.....	47
4.7.1 Guanipa 3D.....	47
4.7.2 Abatuco 3D.....	49

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

5.1 Introducción.....	56
5.2 Metodología.....	56
5.3 Interpretación de atributos sísmicos.....	57
5.4 Atributos sísmicos en el volumen de Guanipa y las superficies.....	58
5.5 Atributos sísmicos en el volumen de Abatuco y las superficies.....	65

CAPITULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Integración de los resultados mapas estructurales, mapas de atributo sísmico e información de pozos.....	75
6.2 Identificación de los posibles prospectos de interés.....	79

Conclusiones y Recomendaciones.....	81
-------------------------------------	----

Bibliografía.....	83
-------------------	----

Apéndice.....	87
---------------	----

Columna estratigráfica del área de estudio.....	87
---	----

Formación Barranquín	87
----------------------------	----

Formación El Cantil.....	87
--------------------------	----

Formación Querecual.....	88
--------------------------	----

Formación San Antonio.....	89
----------------------------	----

Formación San Juan.....	89
-------------------------	----

Formación Vidoño.....	90
-----------------------	----

Formación Caratas.....	90
------------------------	----

Formación Los Jabillos.....	91
-----------------------------	----

Formación Areo.....	91
---------------------	----

Formación Naricual.....	92
-------------------------	----

Formación Carapita.....	92
-------------------------	----

Formación La Pica.....	93
------------------------	----

Formación Las Piedras.....	93
----------------------------	----

Formación Mesa.....	93
---------------------	----

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Ubicación del área de Guarapiche.....	3
Figura 1.2 Líneas sísmicas 2D y polígonos de la sísmica 3D de Guanipa y Abatuco	4
Figura 2.1 Localización de la Cuenca Este de Venezuela en el contexto del ajuste de las placas tectónicas.....	9
Figura 2.2 Mapa de eventos tectónicos mayores Mioceno Inferior – Pleistoceno.....	13
Figura 2.3 Fuentes de sedimentos durante el Mioceno.....	15
Figura 2.4 Sección regional NNW-SSE, Cuenca Oriental de Venezuela.....	15
Figura 2.5 Localización de los volcanes de barro y las filtraciones de gas en la cuenca oriental.....	16
Figura 2.6 Modelo de la evolución de los diapiros de barro.....	17
Figura 2.7 Modelo geológico en escala de tiempo del área de Guarapiche.....	18
Figura 4.1 Polígonos de la sísmica 3D de Guanipa y Abatuco.....	24
Figura 4.2 Sección sísmica Guanipa 3D. Traza 800.....	31
Figura 4.3 Sección sísmica de Guanipa 3D. Traza 680.....	32
Figura 4.4 Sección sísmica Guanipa 3D. Línea 1355.....	33
Figura 4.5 Sección sísmica Guanipa 3D. Línea 367.....	34
Figura 4.6 Sección sísmica Abatuco 3D. Línea 460.....	37
Figura 4.7 Sección sísmica Abatuco 3D. Línea 190.....	38
Figura 4.8 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 370.....	39
Figura 4.9 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 520.....	40
Figura 4.10 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 830.....	41

Figura 4.11 Sección sísmica Guarapiche 2D. Intersección de las líneas ME-90B-27 (NW-SE), ME-90B-06 (W-E) y ME-90B-23 (N-S).....	42
Figura 4.12 Sección sísmica Guarapiche 2D. Intersección de las líneas ME-90B-18 (SW-NE), ME-90B-17 (N-S) y ME-90B-08 (W-E).....	42
Figura 4.13 Tren de diapiros en el área de Guanipa.....	43
Figura 4.14 Superficies del área de Guanipa cortadas por fallas normales.....	44
Figura 4.15 Distribución de los corrimientos, fallas normales y superficies en el área de Abatuco.....	45
Figura 4.16 Superficies de las formaciones del área de Abatuco somera cortadas por fallas normales.....	45
Figura 4.17 Superficies de los horizontes de abatuco profundo cortadas por los corrimientos.....	46
Figura 4.18 Mapa estructural en tiempo de la Formación Las Piedras (Guanipa).....	47
Figura 4.19 Mapa estructural en tiempo del Miembro Cotorra (Fm. Las Piedras) (Guanipa).....	48
Figura 4.20 Mapa estructural en tiempo del Miembro Pedernales (Fm. La Pica) (Guanipa).....	48
Figura 4.21 Mapa estructural en tiempo del Miembro Amacuro (Fm. La Pica) (Guanipa).....	49
Figura 4.22 Mapa estructural en tiempo de la Fm. Las Piedras (Abatuco).....	50
Figura 4.23 Mapa estructural en tiempo de la Fm. La Pica (Abatuco).....	51
Figura 4.24 Mapa estructural en tiempo de la Fm. Carapita (Abatuco).....	52
Figura 4.25 Mapa estructural interpolado en tiempo (ms) de la Discordancia del Mioceno (Abatuco).....	53
Figura 4.26 Mapa estructural en tiempo (ms) del horizonte Abatuco profundo autóctono.....	54

Figura 4.27 Mapa estructural en tiempo (ms) del horizonte Abatuco profundo alóctono.....	55
Figura 5.1 Atributo de coherencia aplicado para definir las estructuras y fallas del bloque de Guanipa.....	57
Figura 5.2 Atributo de coherencia aplicado para definir fallas y corrimientos del bloque de Abatuco.....	58
Figura 5.3 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa resaltando la Formación Las Piedras (888 ms) (Flanco Sur).....	59
Figura 5.4 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Las Piedras.....	59
Figura 5.5 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Las Piedras.....	60
Figura 5.6 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa resaltando el Miembro Cotorra (1400 ms) (Flanco Sur).....	60
Figura 5.7 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa resaltando el Miembro Cotorra (1696 ms) (Flanco Sur).....	61
Figura 5.8 Atributo RMS sobre la superficie del Miembro Cotorra.....	61
Figura 5.9 Atributo Frecuencia sobre la superficie del Miembro Cotorra.....	62
Figura 5.10 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa resaltando el Miembro Amacuro (1936 ms) (flanco norte).....	63
Figura 5.11 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa resaltando el Miembro Amacuro (flanco sur).....	63
Figura 5.12 Atributo RMS sobre la superficie del Miembro Amacuro.....	64
Figura 5.13 Atributo Frecuencia sobre la superficie del Miembro Amacuro.....	64
Figura 5.14 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco resaltando la Formación Las Piedras (1412 ms).....	65
Figura 5.15 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco resaltando la Formación Las Piedras (1496 ms).....	66

Figura 5.16 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Las Piedras.....	66
Figura 5.17 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Las Piedras.....	67
Figura 5.18 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco resaltando la Formación Carapita (1692 ms).....	67
Figura 5.19 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco resaltando la Formación Carapita (1972 ms).....	68
Figura 5.20 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Carapita.....	68
Figura 5.21 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Carapita.....	69
Figura 5.22 Atributo RMS sobre el horizonte abatuco profundo alóctono.....	69
Figura 5.23 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo alóctono (4128 ms).....	70
Figura 5.24 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo alóctono (44244-4488 ms).....	71
Figura 5.25 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo alóctono (4732 ms).....	71
Figura 5.26 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo alóctono (4932 ms).....	72
Figura 5.27 Atributo RMS sobre el horizonte abatuco profundo autóctono.....	72
Figura 5.28 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo autóctono (3624 ms).....	73
Figura 5.29 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo autóctono (3760-3852 ms).....	74
Figura 6.1 Integración de los volúmenes de atributo sísmico y las superficies en el área de Guanipa.....	75
Figura 6.2 Integración de los volúmenes de atributo sísmicos y fallas en el área de Guanipa.....	76

Figura 6.3 Integración de los volúmenes de atributo sísmico, superficies y planos de fallas en el área de Abatuco (vista noroeste).....	77
Figura 6.4 Integración de los volúmenes de atributo sísmico, superficies y planos de fallas en el área de Abatuco (vista sureste).....	78
Figura 6.5. La figura de la izquierda se observa la dirección en que buzan los corrimientos SE, y la superficie profunda alóctona. La figura de la derecha muestra otro ángulo del volumen de Abatuco, para mostrar la superficie profunda autóctona ubicado más hacia el NE.....	79
Figura 6.6 Ambiente depositacional a nivel de San Juan propuesto por BP 97 y que se asemeja al marco depositacional del horizonte profundo autóctono.....	80

INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1.1 Registros disponibles para los pozos de A-1X y A-2X.....	5
Tabla 4.1 Horizontes seleccionados en la sísmica Guanipa 3D.....	26
Tabla 4.2 Horizontes seleccionados en la sísmica Abatuco 3D.....	26
Tabla 4.3 Horizontes seleccionados en la sísmica Guarapiche 2D.....	27
Tabla 4.4 Relación arena y lutitas del pozo A-1X, área de Guanipa.....	29
Tabla 4.5 Relación arena y lutitas del pozo A-2X, área de Abatuco.....	36
Gráfico 4.1 Curva de intersección entre las arenas y lutitas del pozo A-1X, área de Guanipa.....	30
Gráfico 4.2 Curva de intersección entre las arenas y lutitas del pozo A-2X, área de Abatuco.....	36

Sánchez R., Natalia M.J

EVALUACIÓN EXPLORATORIA DEL ÁREA DE GUARAPICHE DELTA DEL ORINOCO

**Tutor académico: Ing. José Luis Perdomo. Tutor Industrial: Ing. Pedro León.
Cotutor Industrial: Ing. Attila Skrzypczack. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geofísica. 2005, n°pag, (111)**

Palabras Claves: Delta del Orinoco, Guarapiche, diapiro de barro, anticlinal,
sísmica 3D, sistema de corrimiento

Resumen.

El Trabajo Especial de Grado, está orientado a la interpretación sísmica 3D estructural del área de Guarapiche, con la finalidad de evaluar la evolución de las estructuras y el análisis de atributo sísmico, determinando condiciones estratigráficas y patrones depositacionales que permitan identificar posibles áreas prospectivas. El área de Guarapiche presenta una extensión 1960 Km² y abarca los estados Monagas y Delta Amacuro, limitando hacia el este con el Campo Pedernales y al oeste con el Campo Quiriquire. Esta área se divide en dos bloques sísmicos 3D que reciben el nombre de Guanipa y Abatuco y 40 líneas sísmicas 2D, que corresponden a 700 Km de extensión. El bloque de Guanipa se encuentra ubicado al este de Guarapiche cubriendo una extensión de 480 Km², y posee un solo pozo A1-X; hacia el oeste del área de Guarapiche se encuentra el bloque de Abatuco el cual tiene una extensión de 309 Km² y también posee un solo pozo A2-X.

La metodología se basó en la interpretación de fallas y horizontes, de los dos bloques sísmicos 3D, así como en la interpretación de la sísmica 2D, definiendo el marco estructural del área, haciendo uso de la herramienta SeisWorksTM de Landmark. Una vez concluida esta fase se empleó la herramienta GeoProbeTM de Landmark con el objetivo de visualizar los dos volúmenes 3D, integrando la información ya interpretada. De esta manera fue a mayor detalle la identificación de las estructuras geológicas así como los posibles patrones depositacionales. Posteriormente se generaron los atributos sísmicos [amplitud, fase, frecuencia, múltiple (amplitud/ $\sqrt{\text{frecuencia}}$), atributo RMS (extracción de amplitud) y semblanza] sobre las superficies interpretadas y para cada volumen sísmico. Luego se integraron los mapas estructurales en tiempo, información de pozos, mapas de atributo sísmico, tomando en cuenta las condiciones geológicas regionales a nivel estructural y estratigráfica del área de Guarapiche, para la identificación de las posibles zonas prospectivas.

La propuesta de las zonas de interés, fueron evaluadas bajo las condiciones de una data sísmica procesada y migrada, que carecía de información de pozos y por consiguiente de análisis petrofísico, de esta manera se restringió a tomar sólo aquellas anomalías que presentaran altos valores de amplitud y bajos valores de frecuencia. Proponiendo de esta manera, para el área de Guanipa a nivel de la Formación Las Piedras y Miembro Cotorra (Plio-Pleistoceno), anomalías acuñadas hacia el flanco sur del tren de diapiros. Sin embargo, las mejores condiciones geológicas se presentan a nivel del Miembro Amacuro (Plioceno), donde las anomalías se ubican en el flanco norte de la estructura, bordeada de una serie de fallas menores y dos fallas normales principales con dirección NNO y NNE, así como, acuñamiento contra los flancos del tren de diapiros, actuando como excelentes sellos estructurales y estratigráficos, y que estas se encuentran por arriba del cálculo de la curva de relación arena-lutita generada con el pozo A-1X, donde la intersección de las curvas se dio a 6800 pies, indicando que cualquier alto contraste de impedancia por arriba de esta profundidad, podría corresponder a la presencia de algún punto brillante. Mientras que en el área de Abatuco se propone a nivel de la Formación Las Piedras (Plio-Pleistoceno) y Carapita (Mioceno), a lo largo de los canales meandriformes en dirección sureste, anomalías bordeadas por un sistema de fallas normales con dirección NO-SE. Separado por la discordancia regional del Mioceno Superior, de lo que se conoce como Abatuco profundo, donde se interpretaron dos horizontes profundo, uno alóctono ubicado en los corrimientos de la Serranía del Interior (Eoceno-Oligoceno), definido en la literatura como escama inferior y separado de la escama intermedia por el Corrimiento de Pirital, que aparece en la sísmica de Abatuco profundo; observándose adicionalmente, cañones submarinos con un alto contraste de relación arcillas-arenas, que podrían corresponder a cuerpos turbidíticos, sellados por los corrimientos, que actuarían como excelentes sellos estructurales; y un horizonte autóctono que también muestra en menor dimensión grandes contrastes de relación arcilla-arena. Sin embargo, esto lo sustentamos en base a la intersección de las curvas arena-lutita de los pozos A-2X y Q-1X, que permiten limitar la presencia de gas, en este caso, a una profundidad de 13650 pies, profundidad que nos permite proponer, que cualquier alto contraste de impedancia, ubicado por arriba de esta profundidad, podría corresponder a la presencia de un punto brillante.

En base a las limitaciones que se consideran a lo largo del trabajo, se recomienda un reprocesamiento de la data sísmica original del área, aplicando herramientas más sofisticadas como migración en profundidad que permitirán definir a mayor detalle, áreas afectadas por estructuras diapíricas, así como, proponer estudios petrofísicos, análisis de reestructuración tectónica, análisis de estratigrafía por secuencia, análisis de AVO, que generarán modelos de mayor detalle que permitirán estimar con mayor precisión áreas prospectivas dentro del área de Guarapiche.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El Trabajo Especial de Grado, está orientado a la interpretación sísmica 3D del área de Guarapiche, integrando información de la sísmica regional 2D, con el propósito de entender el modelo estructural y cinemático de la evolución del área. De esta manera se reevaluará geológicamente la zona en base a las condiciones de sincronización de la migración del hidrocarburo y la formación de las posibles trampas, con la finalidad de estimar las mejores condiciones geológicas que indiquen la presencia de hidrocarburo dentro del área. Estos posibles prospectos se basarán en la integración de resultados de información de pozos, interpretación sísmica y atributos sísmicos, generando así un nuevo enfoque investigativo que incentivará a continuar con el trabajo, introduciendo nuevos objetivos que ampliarán la visión de estudio el cual permitirá un mayor entendimiento dentro del área.

Con esto, se espera aportar a la empresa otra perspectiva del área de estudio, permitiendo así servir como punto de partida para nuevas investigaciones que conlleven a futuro nuevos descubrimientos, los cuales permitirán, reanudar nuevos planes de exploración y explotación, generando a la vez, planes económicos de inversión para el país.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mucho se ha dicho acerca de investigaciones y estudios tanto locales como regionales a lo largo de la cuenca Oriental de Venezuela, esto debido a más de 100 años dedicados a la exploración petrolera, las cuales fueron realizadas por diversas compañías debido a su atractivo comercial, como lo es la búsqueda de hidrocarburos. Los primeros trabajos realizados al este de la Subcuenca de Maturín, se dieron en 1890 con La Graham Company de Trinidad, quien perforó el primer pozo petrolero, en la isla de Capure, próximo a Pedernales; luego en 1910 se explotó el Lago de Asfalto de Guanoco, desarrollándose la primera producción de crudo (10° API), y extendiendo el mercado de tal manera, que ya para 1912 se tenían 17 pozos produciendo en el área.

Aunque para la fecha son innumerables los hallazgos obtenidos en la búsqueda de hidrocarburo dentro de los campos ubicados al noreste de Maturín; con este proyecto, se pretende reevaluar geológicamente el área de Guarapiche; con la finalidad de estimar las posibles áreas prospectivas de hidrocarburo, integrando datos estructurales, información sísmica y atributos sísmico, de manera de permitirle a la empresa un nuevo enfoque geológico del área que reactive el interés de invertir a futuro en nuevos planes de exploración y explotación.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Realizar una interpretación sísmica 3D estructural del área de Guarapiche - Delta del Orinoco, con la finalidad de evaluar la evolución de las estructuras, para el estudio de posibles patrones depositacionales que permitan identificar posibles áreas prospectivas.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Correlacionar la sísmica 3D de Guanipa y Abatuco con los datos de pozo.
- Seleccionar de 3 a 4 horizontes de interés, para interpretar el periodo Cretácico – Terciario.
- Realizar el análisis de atributos sísmicos sobre el volumen de Guanipa y Abatuco.
- Elabora mapas de atributos sísmicos estructurales.
- Realizar la interpretación sísmica 3D de Guanipa y Abatuco.
- Elabora mapas estructurales en tiempo.
- Identificar posibles áreas prospectivas mediante la unión de mapas estructurales, mapas de atributo sísmico e información de pozos.

1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de Guarapiche abarca los estados Monagas y Delta Amacuro, la cual limita hacia el este con el Campo Pedernales y al oeste con el Campo Quiriquire (figura 1.1). Geológicamente comprendido a lo largo de la extensión este del corrimiento frontal de la Serranía del Interior, cubriendo una superficie de 1960 Km² de terreno plano y pantanoso.



Figura 1.1. Ubicación del área de Guarapiche

1.6 JUSTIFICACIÓN

El propósito del proyecto abarca diferentes objetivos tanto académicos, industriales y económicos. Es así como, el proyecto da inicio al estudio geocientífico del área Costafuera de la Plataforma Deltana. Este estudio pretende re-evaluar el área en busca de hidrocarburo, de manera de corroborar que dada las condiciones geológicas, el área corresponde a una zona económicamente rentable. Desde el punto de vista metodológico se realizará un aporte a las técnicas de estudio de fallamiento en sincronización con los mecanismos de migración de fluido permitiendo delimitar los posibles yacimientos los cuales a su vez ayudará a disminuir el impacto ambiental debido a que corresponde a una zona de reserva forestal. Esto permitirá a futuro negociar el área y activar un plan de exploración que ampliará los proyectos Costafuera dando inicio así a una nueva faceta industrial sobre estudios de Plataforma. Mientras que a nivel económico permitirá el incremento de la producción y reserva nacional de crudo, así como también, la entrada de divisas, las cuales reactivarán el sistema económico, generando nuevos empleos.

1.7 INFORMACIÓN DIGITAL DISPONIBLE

En 1993 se adquirió la sísmica 2D, la cual cubre 580 Km² a lo largo de todo el área de Guarapiche y de los cuales 72 Km² corresponden al proyecto Guanipa. En 1997 se realizó la adquisición de la sísmica 3D del área de Guanipa, la cual cubre 480 Km², mientras que en 1998 se levantó la sísmica 3D del área de Abatuco, cubriendo 309 Km². Ambas sísmicas 3D presentan ciertas incongruencias en la respuesta sísmica, lo cual complica la interpretación de los volúmenes en el área, se considera por revisión de la misma con el grupo de procesamiento de PDVSA, que algunas áreas muestran problemas de migración.

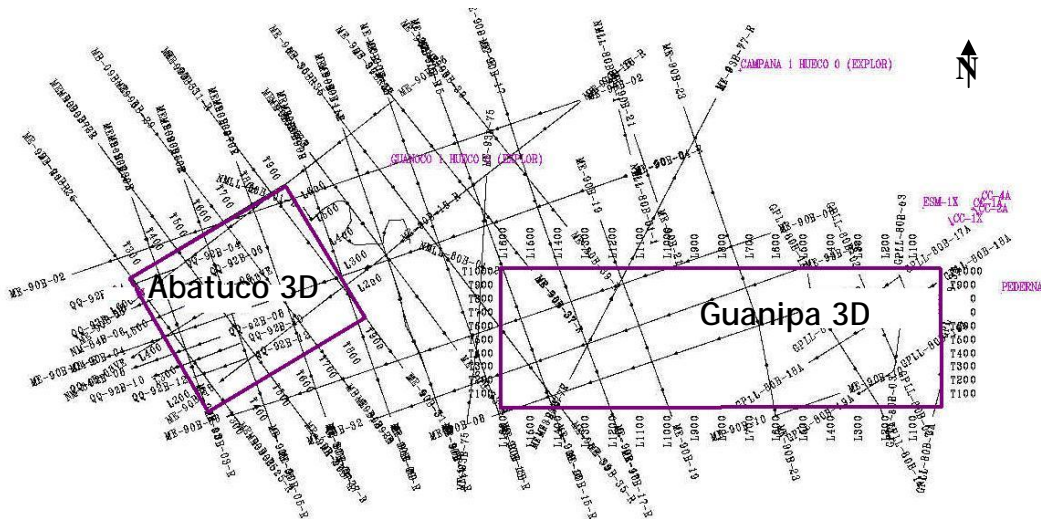


Figura 1.2 Líneas sísmicas 2D y polígonos de la sísmica 3D de Guanipa y Abatuco

1.7.1 ÁREA GUANIPA

Sísmica 3D migrada (480 Km²) adquirida en 1997 (417 Inline, 613 Crossline) Pozo A1-X (PF: 7617 pies)

1.7.2 ÁREA ABATUCO

Sísmica 3D migrada (309 Km²) adquirida en 1997 (464 Inline, 360 Crossline) Pozo A2-X (PF: 14798 pies)

1.7.3 ÁREA GUARAPICHE

Se tienen 700 Km de líneas sísmicas 2D, cubriendo el área de Guarapiche:

1.7.4 REGISTROS DE POZOS

Pozo A1-X	Pozo A2-X
ACTC-ED (940-7600) pies	CAL (12400-14200) pies
ACTC-TIED (940-7600) pies	CALD (12400-14200) pies
AZ (900-2300) pies	CHT (10200-12400) pies
CAL (950-7300) pies	CNC (12400-14400) pies
CHT (550-7600) pies	CNCF (12400-14400) pies
CNC (950-7300) pies	DT (10200-14200) pies
CNCF (1000-7300) pies	GR (10200-14200) pies
DAZ (900-2300) pies	M2C (10200-12400) pies
DEPT (900-2400) pies	M2R (10200-14200) pies
DEV (900-2300) pies	M2RX (12400-14400) pies
DT (950-7600) pies	MWEW (4600-9000) pies
DTC (930-2400) pies	MWGR (6400-9000) pies
DTCR (930-2400) pies	PE (12400-14200) pies
DTS (1000-7500) pies	TT (12400-14200) pies
DTSF (930-7600) pies	TTEN (10200-12400) pies
DTSS (930-7600) pies	VP (10200-12400) pies
DTSY (1000-2400) pies	WTBH (12400-14200) pies
DT_D (950-7600) pies	ZCOR (14200-14400) pies
GR (50-7600) pies	ZDEN (12200-14200) pies
K (930-7600) pies	
KTH (930-7600) pies	
MOR (1000-2400) pies	
M2C (1000-2400) pies	
M2R (1000-7700) pies	
M4C (1000-2400) pies	
PE (1000-7300) pies	
RB (900-2300) pies	
RTHK (930-7600) pies	
RTHU (930-7600) pies	

RUK (930-7600) pies	
SCRA (1000-2400) pies	
TEN (900-2400) pies	
TH (930-7600) pies	
TTEN (550-7600) pies	
U (930-7600) pies	
VP (940-7600) pies	
VS (1000-7700) pies	
ZCOR (1000-7300) pies	
ZDEN (930-7300) pies	

Tabla 1.1 Registros disponibles para los pozos de A1-X y A2-X

1.8 TRABAJOS PREVIOS

Debido al interés económico que representa la gran cantidad de campos petroleros en el Oriente de Venezuela, sobre la Subcuenca de Maturín se han realizado por más de 100 años una serie de trabajos e investigaciones que han permitido entender su carácter geológico, estructural y estratigráfico. Sin embargo, hoy en día continúan estas labores de estudio, aplicando nuevos modelos y herramientas tanto científicas como computacionales, que han permitido darle un enfoque de mayor detalle, integrando a la vez diversas disciplinas.

La mayor contribución a escala regional fue realizada por Liddle (1928) con el estudio de la Geología de Venezuela y Trinidad, introduciendo el término de Geosinclinal del Orinoco para la Cuenca Este de Venezuela. Más tarde aparecen nuevos autores, Herdberg (1937, 1942), Renz (1942), González de Juana (1947) y Funkhouser et al. (1948), definiendo las unidades Cretácicas y Terciarias (Carapita) al noreste de Venezuela, describiendo de manera general la estratigrafía de la cuenca así como afloramientos de la zona. Posteriormente Hedberg (1950) realiza una síntesis sobre el aspecto estructural de la cuenca indicando plegamientos y cinturones deformados, junto a las series depositacionales de la cuenca; Carnevalli (1988) subdivide la evolución de la cuenca en dos fases tectónicas, fase de margen pasivo y desarrollo del foreland junto con el cinturón

plegado adyacente; Di Croce (1995) desarrolla de manera específica la secuencia estratigráfica y la evolución estructural de la región. Trabajos más recientes han permitido generar a mayor detalle modelos geológicos de la Subcuenca de Maturín, Chaparro (2000); así como modelos estructurales en base al cinturón plegado de Monagas, integrando información sísmica, datos de pozo y geología de superficie, Cobos (2002).

Aún cuando a nivel de re-estructuración y modelaje geológico de la Subcuenca de Maturín se ha desarrollado en gran escala hasta los momentos, los cuales han servido como base de continuas investigaciones; poco se ha alcanzado sobre el estudio de volcanismo sedimentario presente al este de Venezuela.

Kerns (1926) nombra, estudia y relaciona a los volcanes del área de Pedernales con una estructura diapírica. En (1930) Wilson, estudia la geología del estado Monagas ubicando y analizando al volcán de barro de El Hervidero en las cercanías de Maturín, más tarde se realizaron estudios de la geología de superficie del área de Pedernales, en particular los volcanes de barro a lo largo del anticlinal de Pedernales, estructura que consideran una prolongación oeste de Anticlinal Meridional de Trinidad, Glendenins (1952), Young, et al. (1956), Barnola (1960) y Gansser (1960). Así como estudios geológicos y geoquímicos de las fuentes termales, aguas sulfurosas y volcanismo sedimentario del estados Monagas y Territorio Federal Delta Amacuro, realizado por Zannin, et al. (1983). Básicamente estas investigaciones contemplan estudios superficiales a lo largo del área.

Es a partir de los años 90, en que se le da una mayor atención, debido a las nuevas propuestas de exploración petrolera al noreste de Maturín. Es así como Aslan et al. (2001), publican un estudio sobre los volcanes de barro en el Delta del Orinoco, los cuales sugieren que son respuestas de la combinación de un tectonismo compresional a lo largo de la placa del Caribe y la placa Suramericana, y de una rápida sedimentación en la antefosa. Posteriormente, un año más tarde, Duerto y McClay (2002) realizaron un estudio en base a líneas sísmicas 2D e información de 23 pozos sobre la evolución y geometría 3D de los diapiros de lutita al Este de la Cuenca de Venezuela, clasificando cuatro tipos de diapirismo, en base a su morfología, geometría y acortamiento. Aún así, gran cantidad de

información se desconoce, la cual permitiría entender un área tan compleja; es por eso que cualquier investigación que se realice dentro del área contribuirá en el progreso investigativo que se viene desarrollando.

CAPITULO II MARCO GEOLÒGICO

2.1 CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Esta cuenca está situada en la zona centro-este de Venezuela (figura 2.1), formando una depresión topográfica y estructural, limitada al sur por el curso del río Orinoco, al oeste por el levantamiento de El Baúl, al norte por la línea que demarca el Piedemonte meridional de la Serranía del Interior Central y Oriental y al este la cuenca continúa por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al sur de la cordillera Septentrional de la isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al este de la costa del delta del Orinoco.

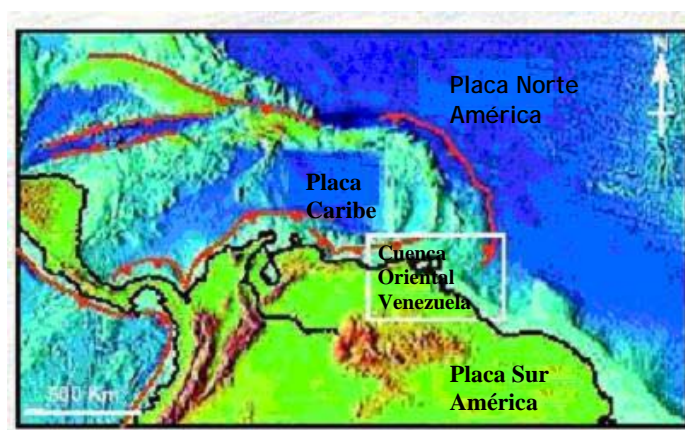


Figura 2.1 Localización de la Cuenca Este de Venezuela en el contexto del ajuste de las placas tectónicas (Tomado de Duerto, L; 2002)

En Venezuela esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 Km en sentido este-oeste, un ancho promedio de 200 Km de norte a sur y un área total aproximada de 165.000 Km² en los Estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Territorio Delta Amacuro y una extensión menor en el Estado Sucre. La cuenca actual es asimétrica, con su flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte, según Cobos (2002).

La Cuenca oriental es una cuenca antepaís, producto del levantamiento de un cinturón plegado de corrimientos que se emplazó en el norte de Venezuela con el avance de la Placa Caribe, se extiende hasta el frente de deformación del prisma de acreción de Barbados y se une con el margen pasivo atlántico de Suramérica. Basándose en sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas, se subdivide la cuenca Oriental en dos subcuencas, subcuenca de Guárico al oeste y subcuenca de Maturín al este. Dallmus (1965, citado en Paredes 2002), utiliza como elemento de separación entre ambas, el llamado Arco de Urica, puramente estructural, asociado al corrimiento de Anaco- San Joaquín-Santa Ana.

2.2 EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Las deformaciones identificadas en la cuenca Oriental están estrictamente asociadas a la interacción entre las placas litosféricas de Suramérica, Norteamérica y el Caribe, agrupadas en cuatro eventos mayores a lo largo del tiempo geológico según Eva et al.(1989) y Parnaud et al.(1995):

- Pre-ensional (Paleozoico): relacionada a la fase pre-rift dando lugar a formaciones de ambientes costero a nerítico
- Fase de Rift y de Deriva (Jurásico y Cretácico Tardío): Se inicia la apertura del megacontinente debido a una fase de rifting a la cual se le sobrepone una serie de grábenes sobre las fajas plegadas y parcialmente peniplanadas del Paleozoico.
- Fase de margen pasivo (Cretácico-Paleógeno): Caracterizado por tres fases transgresivas, desarrolladas de norte a sur, depositándose al noreste de Venezuela sedimentos marino profundo y marino somero, desarrollándose una plataforma carbonática.
- Fase de Cuenca Foreland o Antefosa (Neógeno y Cuaternario): correspondiendo a la transformación de margen pasivo a cuenca foreland, asociado con el desarrollo de la Serranía del Interior.

2.3 SUBCUENCA DE MATURÍN

Durante el Eoceno Tardío a Mioceno Temprano el margen pasivo del Terciario temprano es interrumpido por la aproximación de las placas de Suramérica y el Caribe, produciéndose el levantamiento inicial en la Serranía del Interior y una depresión al sur que marca el comienzo de la formación de la subcuenca de Maturín. Esta cuenca es de forma asimétrica y elongada con dirección N50°E. Las mayores estructuras existentes al norte de la Subcuenca de Maturín son el sistema de fallas de Pirital, El Pilar, San Francisco, Graben de San Juan y el frente de deformación. De acuerdo con los estudios de configuración estructural Aymard et al. (1990), han subdividido a la subcuenca de Maturín en tres provincias:

2.3.1 PROVINCIA COMPRESIONAL

Posee como mayores elementos estructurales, pliegues concéntricos de gran escala, que tienen orientación preferencial N70°E, corrimientos y fallas paralelas a dichos pliegues. La provincia compresional está representada principalmente por la Serranía del Interior y el Sistema de Falla de San Francisco- Quiriquire.

Serranía del Interior: González de Juana et.al.(1980) la describe como una secuencia sedimentaria plegada y fallada con vergencia hacia el sur; limitada al norte por la zona de falla transcurrente de El Pilar, y se extiende desde la zona de falla de Urica al oeste hasta el Golfo de Paria al este.

Rossi (1985) describe como franja meridional de la cadena, el gran anticlinorio de pliegues volcados hacia el sur, con ejes de dirección N70° truncados al suroeste por el Sistema de Fallas San Francisco-Quiriquire.

Subieta (1988) incluye además, un gran accidente normal de dirección N150° que corresponde a la Falla de Caripe y algunas fallas menores de igual dirección en sistema de desgarre al momento del plegamiento.

Hung (1997) aún considerando que la Serranía limita hacia el este con la Falla de Los Bajos indica que gran parte de la Serranía en su extensión más oriental se pierde por debajo de las recientes estructuras normales cercanas al graben de San Juan considerando que en esta región la serranía colapsó gravitacionalmente y se encuentra enmascarada por sedimentos cuaternarios.

Murany (1972, en Vivas et. al., 1985) divide la Serranía en tres bloques seccionados por las fallas de San Francisco y Urica, al este el bloque de Caripe, hacia el centro el bloque de Bergantín y hacia el oeste el bloque de Santa Rosa.

El borde meridional de la Serranía está limitada al norte por el gran sistema de falla curvilíneo de San Francisco Quiriquire y al sur por los rellenos Mioceno-Plio-Cuaternario discordantes de la subcuenca de Maturín.

Sistema de Falla de San Francisco- Quiriquire: Según Rosales (1972) este sistema corta la estructura anticlinal de la Serranía del Interior. La falla se considera transcurrente dextral, pero la compresión diferencial en su extremo este la convierte en un corrimiento de ángulo alto.

2.3.2 PROVINCIA DE DEFORMACIÓN FRONTAL

Localizada al pie de la Serranía del Interior, representa un área de transición, entre la provincia compresiva al norte y la distensiva al sur. Según Hung (1997), abarca el área comprendida hacia el sur de los corrimientos de Pirital y Quiriquire hasta el frente de deformación y está conformada por un cinturón de plegamiento y estructuras diapíricas en subsuelo, mientras que hacia el sur en la superficie existen unos anticlinales de arcilla paralelos a los corrimientos del Piedemonte y que se asocian al frente de deformación. Dentro de esta área está el corrimiento de Pirital y el corrimiento Frontal.

Corrimiento de Pirital: estructura que comienza al este de la Falla de Urica y continúa hasta alcanzar la Falla de San Francisco. Los trenes de pliegues de la Serranía, durante el mioceno medio, se propagaron hacia el sur en el subsuelo, generando las gigantes trampas estructurales de los campos petrolíferos del Norte de Monagas. Di Croce (1995) considera este fallamiento como el mayor elemento tectónico del subsuelo y le asigna un desplazamiento vertical de 5 Km y un desplazamiento horizontal de 30 Km, Méndez (1999) define el corrimiento como un frente tectónico alóctono de la Serranía debido al cabalgamiento observado en secuencias Cretácicas Terciarias y lo describe como un plano de cizalla que próximo a la superficie tiene un buzamiento de 50° a 60° hacia el norte.

Corrimiento Frontal: corresponde a una franja de 40 Km de ancho aproximadamente con vergencia general al sur e intenso fallamiento inverso con una orientación OSO-ENE asociado al plegamiento de la Serranía. Estas estructuras de bajo ángulo se conectan con fallas transcurrentes de orientación no-se que actúan debido a la reactivación o conservación del movimiento hasta edad cuaternaria.

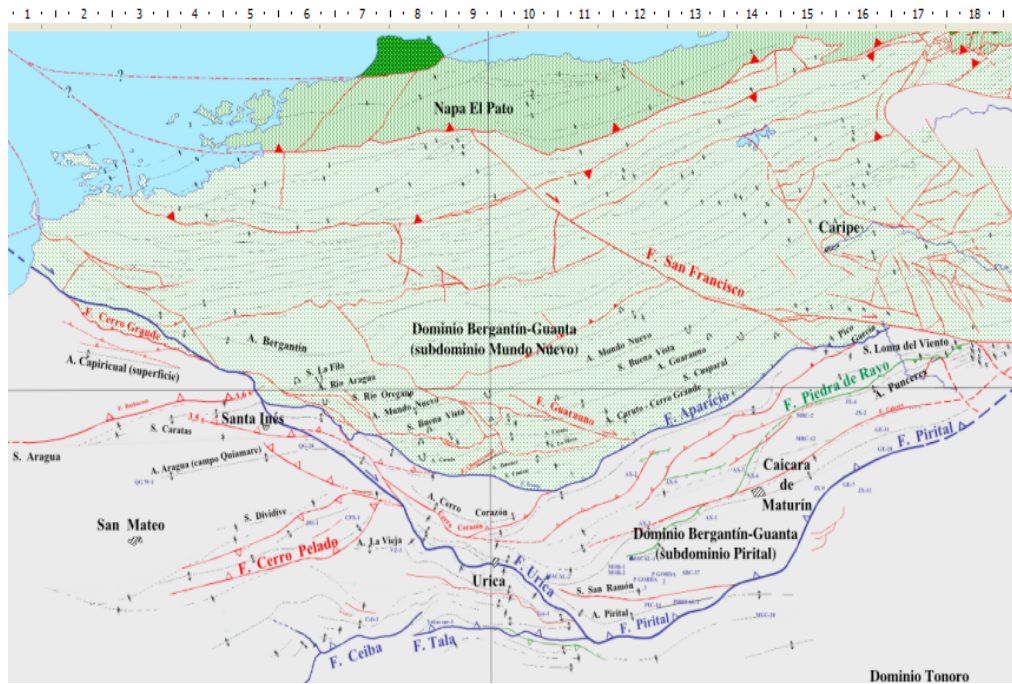


Figura 2.2 Mapa de eventos tectónicos mayores Mioceno Inferior – Pleistoceno
(Tomado de Dominio Tonoro)

2.3.3 PROVINCIA EXTENSIONAL

Es la provincia más hacia el sur y corresponde a la subcuenca tipo antepaís, restringida por el frente de deformación al norte-noroeste. Según Hung (1997) el lado sur de la provincia se distingue por fallas normales involucradas con la deformación y posible subsidencia del basamento; además estas fallas tienen sobrepuestas fallas lístricas que afectan las rocas neógenas.

2.3.4 DELTAS

Un delta es un depósito sedimentario que corresponde a un ambiente de transición, su formación se debe al volumen del material transportado por el río, a la profundidad de las aguas en la línea de costa y a la magnitud del sistema de

mareas y corrientes marinas litorales. En términos generales un delta se forma cuando todo el material sedimentario transportado por el río no logra ser dispersado o distribuido en forma eficaz a lo largo de la línea de costa. Los parámetros físicos que lo regulan son:

- Volumen de sedimentos aportados por el río y descargados en la línea de costa
- Magnitud en las corrientes de marea
- Magnitud en las corrientes marino litorales

Los deltas representan el ambiente sedimentario con mayor acumulación de sedimentos en la plataforma continental y línea de costa en relación a tiempo de sedimentación. Los deltas poseen una amplia variedad de facies de arenas, limos y arcillas. Las arenas forman los reservorios, mientras que las arcillas y limos intercalados constituyen los sellos naturales. Los deltas avanzan y progradan en dirección al mar, por lo tanto la línea de costa avanza sobre la plataforma continental donde el delta se forma. El avance del delta está controlado en gran medida por el nivel del mar. Si el nivel del mar desciende ligeramente, el delta puede avanzar y progradar más rápidamente sobre la plataforma continental.

Durante el Plioceno-Reciente la provincia del Delta del Orinoco se desarrolló costafuera. En el Delta del Orinoco, todas las islas en la desembocadura de este canal están controladas por el material descargado y el control que ejerce las mareas. Otro sector dominado por las mareas es la Bahía de Guanipa en la desembocadura del Caño Manamo, según Méndez, J (2005).

2.3.5 ESTILO ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRAFICO DEL ÁREA DE GUARAPICHE

A nivel tectono-estratigráfico el área de Guarapiche corresponde a más de 25.000 pies de sedimentos que corresponde a material depositado desde el Cretácico hasta nuestros días (figura 2.2). La historia de sedimentación comenzó en el Cretácico con el desarrollo de la plataforma carbonática. Estos carbonatos representados por el Grupo Guayuta fueron deformados entre el Oligoceno y Mioceno Temprano, debido a la subducción de la Placa de Caribe y a las imbricaciones y corrimientos que venían desde el oeste de la cuenca. Es así como durante el Oligoceno-Mioceno se fueron depositando en la cuenca, a grandes

profundidades de agua, tanto lutitas como turbiditas, con un alto potencial de hidrocarburo; que posteriormente fueron removidas por la deformación de los diapiros durante el final de la evolución de la cuenca (figura 2.3).

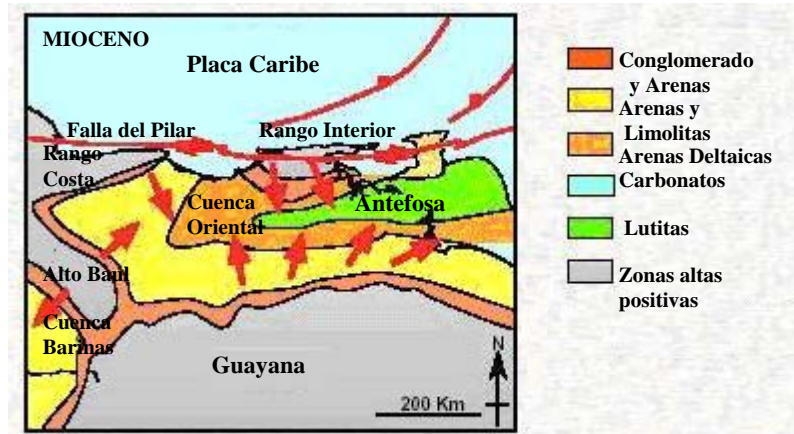


Figura 2.3 Fuentes de sedimentos durante el Mioceno (Tomado de Duerto, L; 2002)

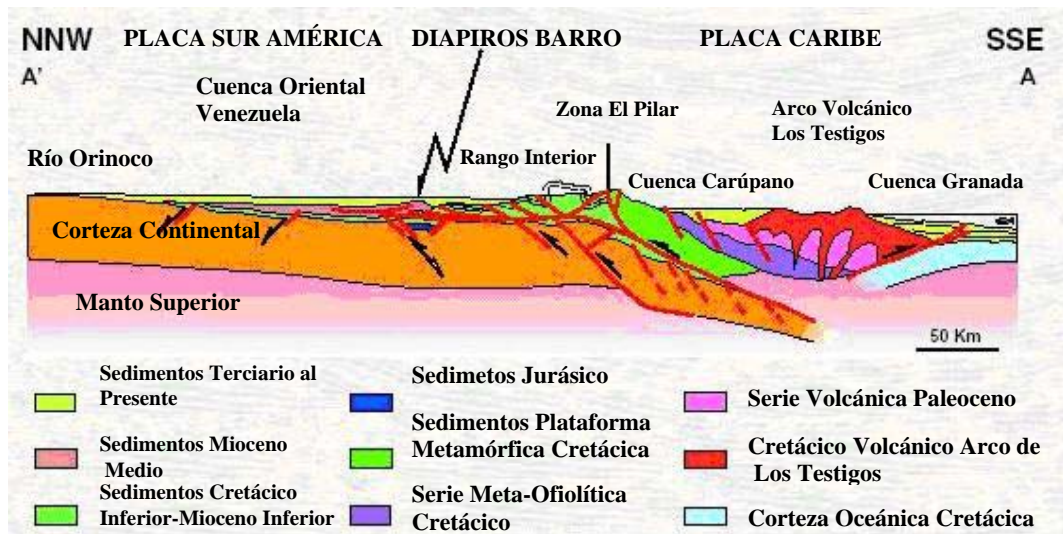


Figura 2.4 Sección regional NNW-SSE, Cuenca Oriental de Venezuela. Nótese la localización de diapiro en el frente de la deformación (Tomado de Duerto, L; 2002)

La estructura del bloque de Abatuco corresponde a la deformación del sistema compresional que se orienta al sureste del Este de Venezuela formado durante el Mioceno Medio. El emplazamiento del sobrecorrimiento fue contemporáneo con la depositación de la parte superior de las lodolitas marinas profundas de la

Formación Carapita, según Informes de BP (1997). Los sedimentos del margen continental del Oligoceno al Cretácico están envueltos en la estructura del sobrecorrimiento, mientras que en el Mioceno son claramente reflejados las areniscas turbidíticas a nivel de Carapita, desarrollados como cuerpos aislados, correspondientes a aguas marinas profundas.

La estructura del bloque de Guanipa está definida por un tren de diapiros de lutita o barro, resultado de un evento regional de origen tectónico compresivo, asociado con la orogénesis del cinturón frontal de la Serranía del Interior. La orientación de los diapiros, coinciden con el borde este de la capa principal de empuje en el área de Maturín (figura 2.4).

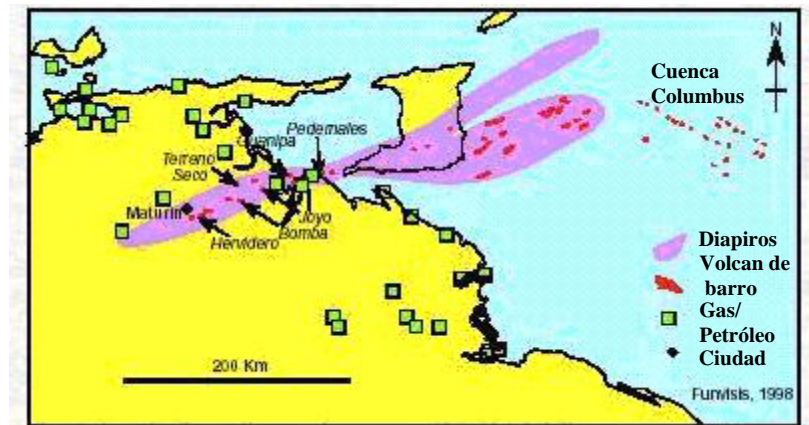


Figura 2.5 Localización de los volcanes de barro y las filtraciones de gas en la cuenca oriental. Nótese la convergencia de los volcanes de barro en el área de los diapiros (Tomado de Duerto, L; 2002)

La evolución de los diapiros de barro (figura 2.5), viene dada en cuatro etapas, según Duerto (2002):

- La etapa Pre-crecimiento. Las lutitas fueron depositadas en una apertura restringida hacia el este de la antifosa, esto ocurrió durante el Mioceno Temprano – Medio.
- Inestabilidad inicial en la lutitas ocurrió durante el Mioceno Tardío, formando pequeños anticlinales que controlaron la sedimentación alrededor de ellos, en esta etapa el levantamiento fue mayor que la tasa de sedimentación.

- Sin-crecimiento. Los diapiros tenían su principal evolución en el Plio-Pleistoceno. El rango alto de sedimentación permitió levantar la carga tectónica de la sobrepresión en la lutitas.
- Colapso y migración del diapiro. El desplazamiento desde el este debido al sistema de empuje produjo la migración en la misma dirección de la sobrepresión. Los diapiros colapsaron después del agotamiento de la fuente y nuevos volcanes fueron formándose en la dirección del transporte tectónico

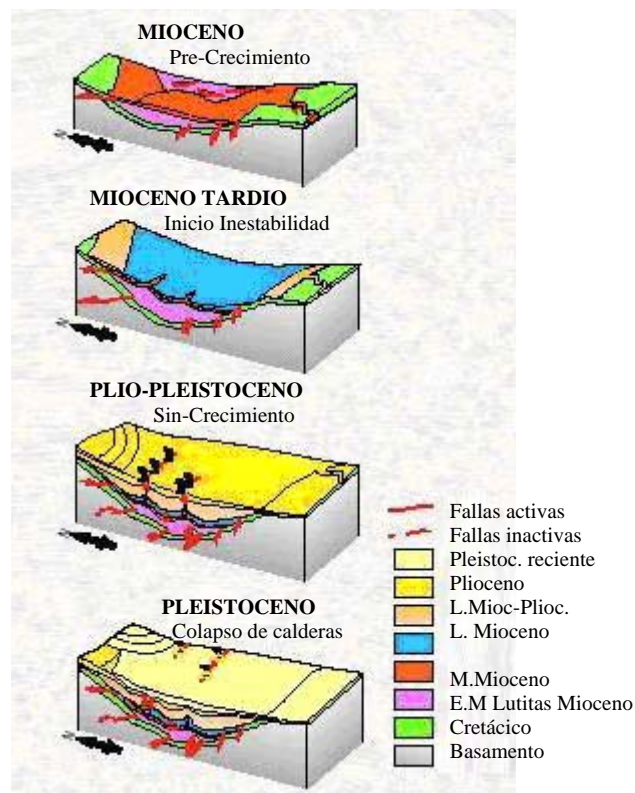


Figura 2.6 Modelo de la evolución de los diapiros de barro (Tomado de Duerto, L; 2002)

Los diapiros son expresiones someras de estructuras tectónicas subyacentes que pueden ser usadas como indicadores de estratos de empuje debido a la alta presión de fluido sobre el poro, favoreciendo así la alta compresión horizontal. Las zonas de sobrepresión inicial debieron ser localizadas en el noreste de la profundidad máxima de la cuenca antepaís. Los efectos del sistema de empuje fue el desplazamiento del área sur oriental de las unidades de las lutitas generando el mayor almacenamiento en el área de Guanipa, según Duerto (2002).

El modelo de los pliegues son las mejores series asociados con los diapiros en la cuenca este venezolana, formando anticlinales que son resultado de una compresión regional producto de la orogénesis del cinturón frontal de la Serranía del Interior asociado con una serie de fallas reversas y transcurrentes laterales al plano del anticlinal. La forma de los anticlinales se debe a la rotación progresiva y a la variación de la longitud de los limbos, debido a la ausencia de triángulos de pliegue. Estos pliegues pueden ser modelados usando un limbo rotatorio no rígido en una zona de cizalla triangular, según Duerto (2002).

A nivel general el área de Guarapiche se entiende como un modelo geológico (figura 2.6), sometido a nivel regional a esfuerzos compresionales generando la serie de corrimientos de la Serranía del Interior y subsecuentemente debido al acortamiento y al alto espesor de lutitas plásticas de la Formación Carapita se originó la series de anticlinales y la formación de diapiros, cortados por una serie de fallas normales, lístricas y transcurrentes.

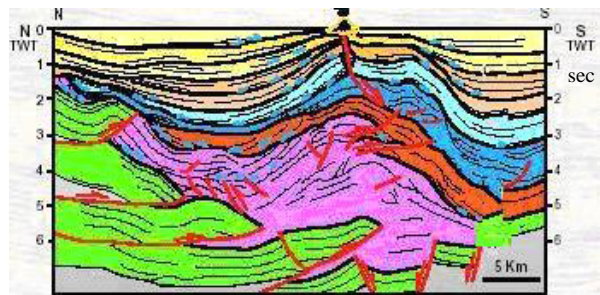


Figura 2.7 Modelo geológico en escala de tiempo del área de Guarapiche (Tomado de Duerto, L; 2002)

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA 3D

Es el proceso mediante el cual se combinan datos sísmicos, geológicos y petrofísicos, generando mapas que modelen la respuesta geológica del subsuelo, de manera de reconstruir los eventos estructurales, que a su vez permitirán determinar posibles zonas de yacimiento.

La interpretación sísmica 3D se diferencia de la sísmica 2D, porque ésta representa un volumen, que permite observar detalles a pequeña escala en cuanto a estructuras y eventos estratigráficos debido a su mayor resolución, de esta manera la utilización de la sísmica 3D, es recomendada para el estudio de un área estructuralmente compleja. Sin embargo, la sísmica 2D permite llevar información de los pozos al 3D, así como definir ambientes sedimentarios, entre otros.

3.1.1 PROCESO DE INTERPRETACIÓN SÍSMICA 3D

La interpretación se basa entonces en dos aspectos importantes, las cuales reciben el nombre de interpretación por continuidad que no es más que la propiedad por la cual un evento o pulso sísmico puede ser reconocido en trazas sucesivas, originando lo que se conoce como reflector, el cual cada uno presentará un valor de impedancia específico; mientras que el segundo aspecto corresponde a la interpretación por correlación, la cual se utiliza para relacionar un área con otra, valiéndose de las características propias de las reflexiones que presentarán amplitudes específicas del medio. Para esto es indispensable la presencia de pozos lo suficientemente profundos para lograr una correlación con los datos sísmicos.

Un levantamiento sísmico se interpreta de tal manera que las líneas formen un mallado del área, esto quiere decir, que las líneas existentes en una dirección, se crucen con las líneas de dirección perpendicular. Una vez completado el seguimiento de un evento hasta uno de estos cruces, se realiza un proceso de

amarre, identificando el reflector, en la línea no interpretada, este proceso se repite hasta completar todas las secciones de interés.

El proceso de interpretación conlleva a una evaluación previa de la información sísmica así como de su calibración, revisión de la información de los pozos existentes dentro del área y cercana a ella, así como de un amplio conocimiento geológico de la zona para determinar la alineación de las estructuras principales, una vez realizado esto, se definen líneas arbitrarias que cubran la mayor extensión del área, las cuales permitirán ver las estructuras del subsuelo en su verdadero tamaño, definiendo así las secciones sísmicas, las cuales representaran la mejor dirección de la interpretación sísmica 3D.

Una vez realizada la interpretación 3D, se grafican las secciones sísmicas, generando mapas estructurales en unidades de tiempo doble, y no en unidades de profundidad las cuales permiten apreciar la imagen del subsuelo en su dimensión real.

Para ello es necesario hacer uso de los métodos que permitirán hacer la conversión de tiempo a profundidad, a través de los valores de las velocidades promedio.

3.2.3 ATRIBUTOS SÍSMICOS

Se definen como medidas específicas tanto geométricas como dinámicas y de rasgos estadísticos, derivados de los datos sísmicos y que pueden ser relacionados con tópicos únicamente relacionados a presencia de yacimientos y/o anomalías del subsuelo, los cuales ayudan directamente a la exploración de hidrocarburo. Los atributos sísmicos relacionan los parámetros físicos de la sísmica con los parámetros petrofísicos. Existen dos grandes categorías generales en las cuales se pueden clasificar los atributos:

Atributos geométricos: son aquellos computados a partir de la configuración y continuidad de la reflexión. Se utilizan en la interpretación estructural y estratigráfica (Hernández, 2001).

Atributos físicos: atributos computados a través de trazas complejas, fases y otros que corresponden a las diversas medidas del frente de onda propagante. Permiten la extrapolación de características litológicas o de yacimiento (Hernández, 2001).

Si el objetivo del análisis de atributos es estructural, se realiza un análisis cualitativo, el cual es utilizado para definir la forma de la estructura. Para esto no es necesario disponer de información de pozos, aunque si existe puede ser utilizada para confirmar los resultados obtenidos. En general, es suficiente los resultados en conjunto con otras disciplinas.

Si el objetivo del análisis de atributo es estratigráfico se realiza un análisis cualitativo y un análisis cuantitativo. El análisis cualitativo es utilizado para definir litología, requiriendo previamente una interpretación estructural, la extracción de atributos permite definir geometrías como canales que pueden establecer guías en la obtención de los modelos depositacionales. El análisis cuantitativo se requiere un estudio previo estructural generando mapas donde se evidencien patrones estructurales, mapas de isopropiedades y mapas de incertidumbre, Hernández (2001).

3.2.1 ATRIBUTO DE AMPLITUD

La amplitud de la reflexión de la onda sísmica es una función de la impedancia acústica y puede correlacionarse directamente con la geología. La amplitud de la reflexión de la onda depende del offset y de las propiedades petrofísicas de ambos medio. A su vez estas propiedades son función de la litología y del tipo de fluido contenido en el espacio poroso. Reflexiones de amplitud en la cresta o en el valle de una reflexión identificada es el atributo de amplitud comúnmente más usado, Barreto (2004). Los principales usos de la amplitud en la interpretación son:

- Muestra los contraste de impedancia acústica
- Cambios laterales en la amplitud son asociados con cambios litológicos o acumulaciones de hidrocarburo.
- Reflexiones con alta amplitud indican generalmente presencia de gas.
- Cambios bruscos en la amplitud son asociados a fallas o a secuencias depositacionales sobre canales.
- Detecta capas delgadas, discordancias, límites de secuencia y variaciones litológicas.

3.2.2 ATRIBUTO DE FASE

Es una medida de continuidad asociado a un instante de tiempo de los eventos sobre una sección sísmica. Su respuesta es independiente de la fuerza de reflexión y de la amplitud, Barreto (2004). Este atributo es usado para clasificar formas geométricas y sus principales usos son:

- Indicador de continuidad lateral
- Resalta eventos débiles
- Pude ser usado para calcular velocidad de fase
- Permite resaltar rasgos depositacionales tales como acuñamientos, discordancias, canales, zonas de engrosamiento y adelgazamiento, límites de secuencias.

3.2.3 ATRIBUTO DE FRECUENCIA

Representa la tasa de cambio de la fase como una función del tiempo asociado a un instante de tiempo. La frecuencia viene dado por un número de reflexiones que cambiarán gradualmente a medida que la secuencia de capas cambia en grosor o en litología, Barreto (2004). Sus principales usos son:

- Indican presencia de hidrocarburo debido a anomalías de baja frecuencia
- Bajas frecuencias resaltan zonas de fractura
- Indica espesor de las capas, altas frecuencias corresponden a delgadas capas de lutitas y bajas frecuencias corresponden a capas más gruesas de arenas, así como acuñamientos o bordes del contacto agua-petróleo.

3.2.4 ATRIBUTO DE COHERENCIA

La coherencia sísmica es una medida de los cambios laterales de la respuesta sísmica ocasionados por la variación de la presencia de estructuras, estratigrafía, litología y presencia de hidrocarburo. El cubo de coherencia es obtenido por el cálculo localizado de la forma de onda con el mallado regular de la data sísmica 3D. La técnica está diseñada para realzar la interpretación de planos de fallas en cualquier orientación dentro de un volumen sísmico y para detectar características estratigráficas implícitas en la sísmica 3D. El cálculo de coherencia suprime los rasgos mejor visibles, resaltando todos aquellos detalles críticos no evidentes

dentro de una sección sísmica, incrementando la probabilidad de encontrar hidrocarburo ya que permite indicar o resaltar trampas estratigráficas y estructurales, Martínez et al (2004).

3.2.5 ATRIBUTO MÚLTIPLE (AMPLITUD / $\sqrt{\text{FRECUENCIA}}$)

Este tipo de atributo es una opción de la herramienta GeoProbe™ de Landmark que permite generar en el volumen sísmico la maximización del valor de los datos sísmicos con iluminación y sombreado de la data en tiempo real. Este atributo múltiple (amplitud / $\sqrt{\text{frecuencia}}$) permite delimitar los rasgos más significativos con respecto los cambios de facies, diferenciando arcillas de arenas.

CAPITULO IV

INTERPRETACIÓN SÍSMICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Los datos sísmicos del área de Guarapiche corresponden a dos bloques sísmicos 3D que reciben el nombre de Guanipa y Abatuco y 40 líneas 2D. La interpretación sísmica se realizó en ambos 3D y en 22 transectos 2D, de los cuales sólo 6 líneas (ME-90B-27, ME-90B-06, ME-90B-23) y (ME-90B-18, ME-90B-17, ME-90B-08) se usaron para unir la información comprendida entre los dos bloques 3D y los restantes transectos se usaron para entender geológicamente los eventos que suceden a lo largo del área. El bloque de Guanipa se encuentra localizado hacia el lado este de Guarapiche, cubriendo 480 Km² de sísmica 3D, y posee un sólo pozo A1-X. Dicho pozo fue programado inicialmente para 11.020 pies de profundidad (9720 pies verticales) pero la perforación se suspendió a 7617 pies, penetrando de manera parcial el Miembro Pedernales. El bloque de Abatuco está ubicado hacia el lado oeste de Guarapiche y cubre un área total de 309 Km² de sísmica 3D, y también posee un sólo pozo A2-X, con profundidad final de 22.000 pies pero la perforación se abandonó a los 14.798 pies de profundidad, nivel de la Formación San Antonio (figura 4.1)

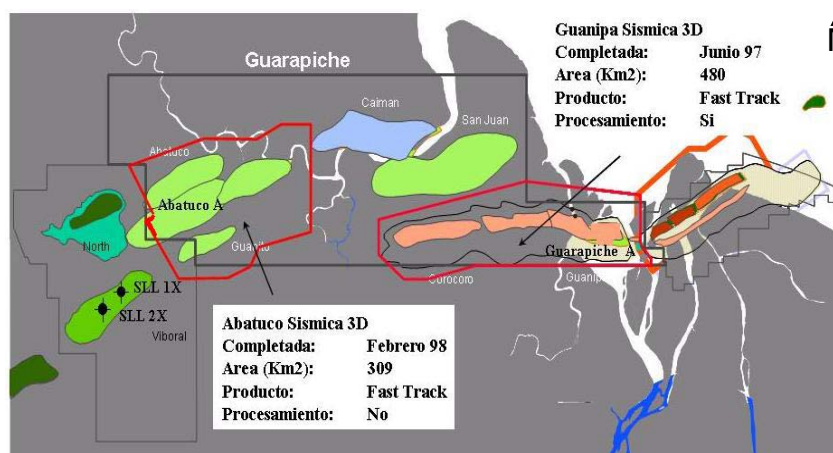


Figura 4.1 Polígonos de la sísmica 3D de Guanipa y Abatuco (Tomado de datos de PDVSA-CIED)

4.2 METODOLOGÍA

La metodología se basa en la interpretación del volumen sísmico, en la revisión completa de los datos migrados de los dos bloques del área de Guarapiche (Guanipa y Abatuco) y en los transectos 2D, definiendo el marco estructural del área, así como la calidad de la sísmica y la selección de los horizontes según los marcadores de los pozos exploratorios perforados en el área. El primer bloque que se interpretó, tanto fallas como horizontes, fue el de Guanipa, una vez finalizado, se continuó con el bloque de Abatuco, y posteriormente se interpretaron 22 secciones sísmicas 2D.

Una vez definido el marco estructural del área, se realizó el trazo de las fallas más representativas, usando la herramienta SeisWorks™ de Landmark. Con el mismo programa se realizó la interpretación de los horizontes, generando en el MapView el mapa de cada horizonte vista en planta.

Adicionalmente se empleó la herramienta GeoProbe™ de Landmark, con el objetivo de visualizar los dos volúmenes 3D; permitiendo a su vez transferir los horizontes sísmicos y las fallas interpretadas desde Seisworks; mostrando en dicha perspectiva, los ambientes sedimentarios y las anomalías estructurales.

4.3 CORRELACIÓN DE LA SÍSMICA CON LOS DATOS DE POZO

Para establecer la correlación tiempo profundidad de los datos sísmicos con los datos de pozo, se calcularon los sismogramas sintéticos para ambos pozos exploratorios (A-1X y A-2X), generando poca resolución en la curva sintética, debido a la falta de registros de densidad y adicionalmente, para el pozo exploratorio A-2X falta de continuidad en el registro sísmico a lo largo de toda la columna sedimentaria. Debido a esto, se utilizaron marcadores ya existentes, interpretados en trabajos anteriores; calibrando los horizontes más representativos de la sísmica con la curva GR de cada pozo.

4.4 HORIZONTES SELECCIONADOS

4.4.1 GUANIPA 3D

Los horizontes seleccionados corresponde al tope de una formación y tres miembros de edades más recientes de edad Mioceno a Pleistoceno; la selección de los mismos corresponde a los marcadores del pozo exploratorio A-1X (tabla 4.1). La interpretación de los horizontes se realizó sobre máximos de amplitud negativa.





MARCADOR	HORIZ.SISMIC (ms)	PROFUND.TOPE (pies)	COLOR
Formación Las Piedras	726	2887	
Miembro Cotorra	916	3346	
Miembro Pedernales	1260	5725	
Miembro Amacuro	1596	7152	

Tabla 4.1 Horizontes seleccionados en la sísmica Guanipa 3D

4.4.2 ABATUCO 3D

De la misma manera que en el bloque de Guanipa 3D, los horizontes seleccionados corresponden a los topes de las tres primeras formaciones de edades más recientes de edad Mioceno a Pleistoceno, la selección de los mismos corresponden a los marcadores del pozo exploratorio A-2X, área que denotaremos abatuco somero; a la interpretación de dos horizontes de altas impedancias comprendidas entre el intervalo (3000-5000) ms, área que denotaremos como abatuco profundo y la discordancia del Mioceno, que separa el área a la que denominamos abatuco profundo, de abatuco somero (tabla 4.2). La interpretación de los horizontes se realizó sobre máximos de amplitud negativa.









MARCADOR	HORIZ.SISMICO (ms)	PROFUND.TOPE (pies)	COLOR
Formación Las Piedras	–	6150	
Formación La Pica	1504	6780	
Formación Carapita	1628	13900	
Discordancia Mioceno	1800	–	
Horiz. profundo autéctono	(3250-3700)	–	
Horiz. profundo alóctono	Parte NO (2500-4500) Parte SE (4000-4700)	–	

Tabla 4.2 Horizontes seleccionados en la sísmica Abatuco 3D

4.2.3 GUARAPICHE 2D

La selección de los horizontes en la sísmica 2D se tomó en base a los dos pozos existentes en el área, A1-X y A2-X, interpretando a lo largo de los marcadores (tabla 4.3); como ambos no presentan los mismos marcadores; la Formación La Pica para el pozo de A-2X, se correlacionó con el Miembro Pedernales del pozo de A1-X, correspondiente a la formación La Pica.

MARCADOR	HORIZ.SISMICO (ms)	PROFUND.TOPE (pies)	COLOR
Formación Las Piedras	–	6150	
Formación La Pica	1504	6780	

Formación	1628	13900	
Carapita			

Tabla 4.3 Horizontes seleccionados en la sísmica Guarapiche 2D

4.5 INTERPRETACIÓN SÍSMICA DE LOS ESTILOS ESTRUCTURALES Y ESTRATIGRÁFICOS

4.5.1 GUANIPA

La estructura del bloque de Guanipa está definida por un tren de diapiros de lutita o barro con dirección este-oeste. Este tren de diapiros esta relacionado con los anticlinales que presentan la misma dirección del eje de la cuenca oriental “Antefosa” debido al gran espesor de lutitas presentes en la cuenca. Se observa que hacia el norte los anticlinales que se extiende desde el sur de Trinidad al oeste del Campo Pedernales y que culmina en las estructuras profundas del Campo Quiriquire, no muestran evidencias de estar asociados con los diapiros de barro.

Los diapiros en el bloque de Guanipa están formados por las lutitas del Mioceno que son a su vez las más densas de la región y debido a los efectos de empuje sobre la cuenca, generó las mayores acumulaciones y espesores de lutitas. Tanto en el área de Guanipa como hacia el área de Pedernales, corresponden a las zonas de mayor sobrepresión, generando sobre las crestas de los diapiros un flujo ascendente del material lutítico, el cual se escapa a lo largo de las fallas normales y lístricas, formando los volcanes de barro. Según Duerto, L (2002); existen tres características principales en los diapiros, que fueron identificados como:

- Alto ángulo planar de las fallas normales desarrollándose encima o sobre los anticlinales, paralelos a la dirección del eje de la cuenca (este-oeste). Estas fallas fueron usadas por la sobrepresión de las lutitas para migrar a la superficie y formar volcanes de barro.
- Fallas lístricas se desarrollaron sobre los cuerpos de lutitas, estas fallas son encontradas embebidas dentro de los diapiros y hacia el área más al sur.

- Las fallas normales se desarrollaron sobre el colapso diapiro-anticlinal en un patrón circular o elongado.

4.5.2 RELACIÓN ARENA - LUTITA DEL POZO A-1X EN EL ÁREA DE GUANIPA

Con los registros sísmico y GR del pozo A-1X se calculó la relación arena – lutita para determinar el límite estadístico entre gas-petróleo o gas-agua, usando el registro GR para separar los paquetes de arenas y lutitas y a partir de ahí tomar sobre el registro sísmico, su respectivo valor de viaje de tránsito en unidades de ms/pies, que usando el inverso de este valor y multiplicado por 1×10^6 se obtuvo el valor de velocidad sísmica en unidades de pies/seg (tabla 4.4). Luego se graficó el valor de la velocidad Vs. profundidad, tanto para las arenas como para las lutitas, intersectándose en un punto en común que se encuentra a una profundidad alrededor de los 6800 pies (gráfico 4.1), permitiéndonos definir, que a partir de esta profundidad hacia profundidades menores es posible detectar puntos brillantes (brightspot) al encontrar altos valores de impedancia acústica en los horizontes.

ARENA			LUTITA		
Profundidad (pies)	Δt ($\mu\text{seg/pies}$)	Velocidad interválica (pies/seg)	Profundidad (pies)	Δt ($\mu\text{seg/pies}$)	Velocidad interválica (pies/seg)
2600	104	9615.38	1250	172	5813.95
4300	118	8474.57	1850	158	6329.11
6000	120	8333.33	4750	130	7812.5
7000	136	7352.94	7300	128	7812.5

Tabla 4.4 Relación arena y lutitas del pozo A-1X, área de Guanipa

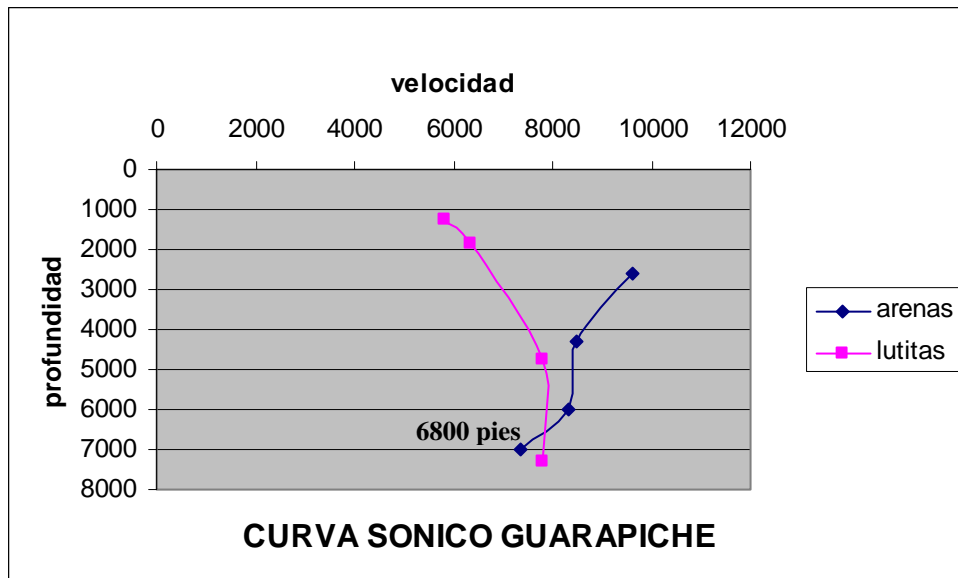


Gráfico 4.1 Curva de intersección entre las arenas y lutitas del pozo A-IX, área de Guanipa

Esta relación permite apreciar la relación de velocidad que hay entre las arenas y las lutitas para intervalos de profundidad que se incrementan, observándose que la velocidad de las arenas aumenta a medida que esta sometida a mayor profundidad, esto debido a que sus granos se compactan aún más, reduciendo la porosidad de la misma, mientras que en el caso de las lutitas, al expandirse más sus granos hay mayor espacio intergranular, reduciendo la velocidad.

4.5.3 SECCIONES SÍSMICAS DE GUANIPA 3D

En dirección de las trazas se observa que el área de Guanipa presenta una larga cadena de anticlinales (figura 4.2) cortados por una serie de fallas normales con la misma dirección del eje de los pliegues y pequeñas fallas inversas que se forman por la acomodación del material. Encontrando hacia esta dirección de la sísmica dos fallas normales mayores con orientación nor-noroeste y nor-noreste, que disectan la estructura, produciendo un cierre lateral significativo.

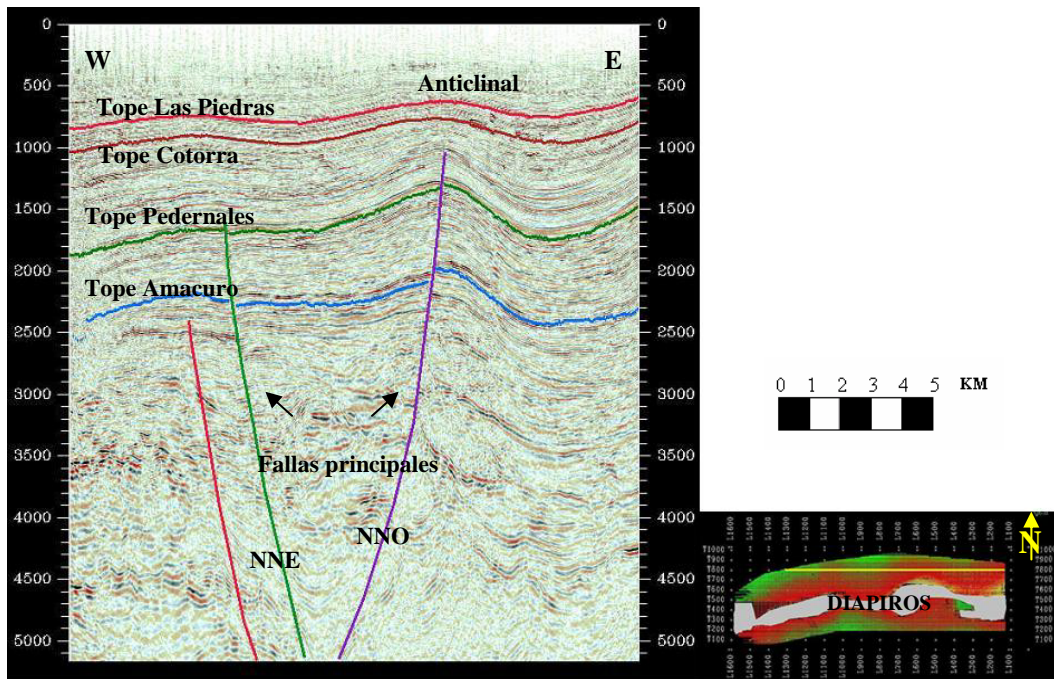


Figura 4.2 Sección sísmica Guanipa 3D. Traza 800

A medida que nos dirigimos hacia el sur, aparece el tren de diapiros que lleva una dirección oeste-este y que continúan hacia Trinidad. Dentro de los diapiros se observan la presencia de fallas lístricas y a lo largo de sus flancos fallas normales, que cortan principalmente a los Miembros de Pedernales y Amacuro de edad Plioceno (figura 4.3).

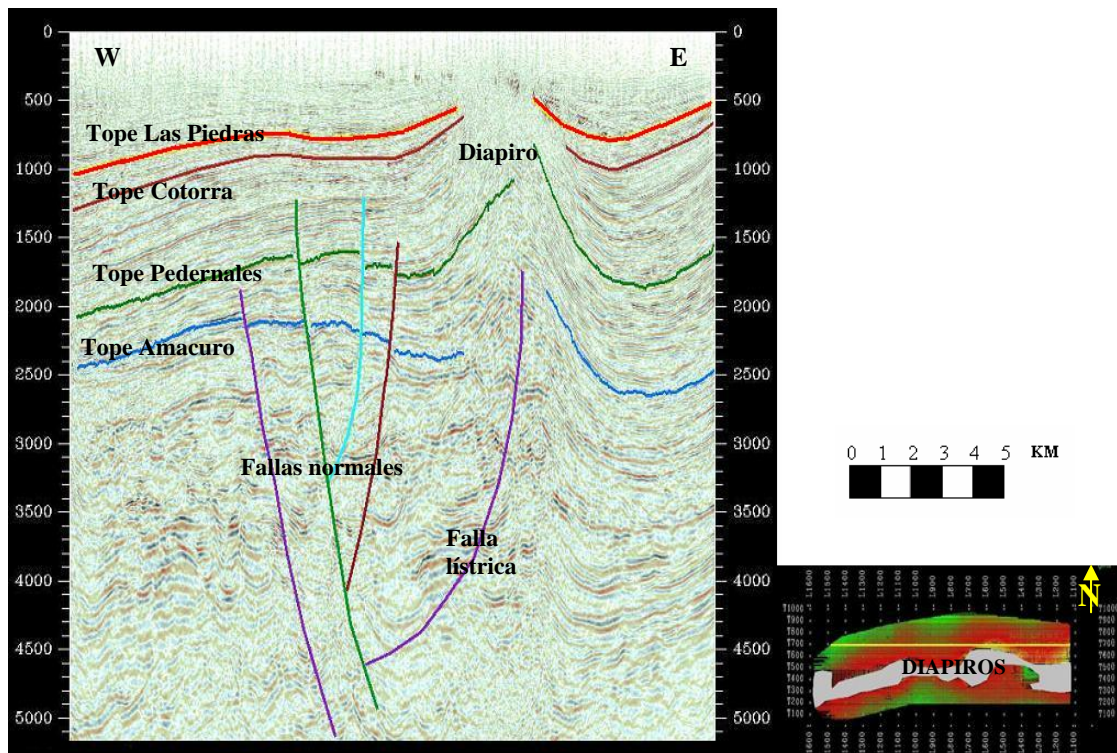


Figura 4.3 Sección sísmica Guanipa 3D. Traza 680

Aunque se cuenta con menor información sísmica en el flanco sur, como para definir los eventos geológicos y sus anomalías estructurales, la presencia de fallas disminuye. En la dirección de las líneas, se observa que hacia el oeste, este tren de diapiros está formado por diapiros individuales (figura 4.4).

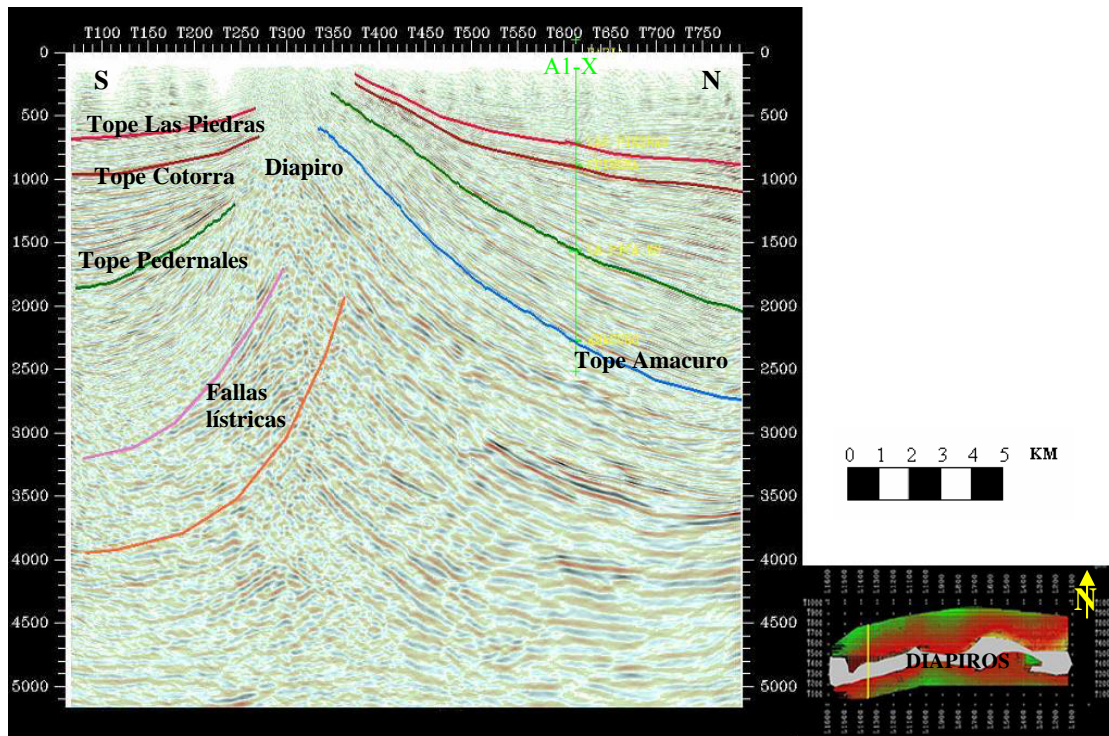


Figura 4.4 Sección sísmica Guanipa 3D. Línea 1355

A medida que se avanza hacia el este, se observa tanto en la sísmica como en el mapa vista de planta, en dirección sur, la presencia de otro cuerpo diapírico de menor porción o tamaño, formando una estructura de diapiros dobles que corresponden a otra vía de migración del barro, de la misma edad geológica Plio-Pleistoceno (figura 4.5).

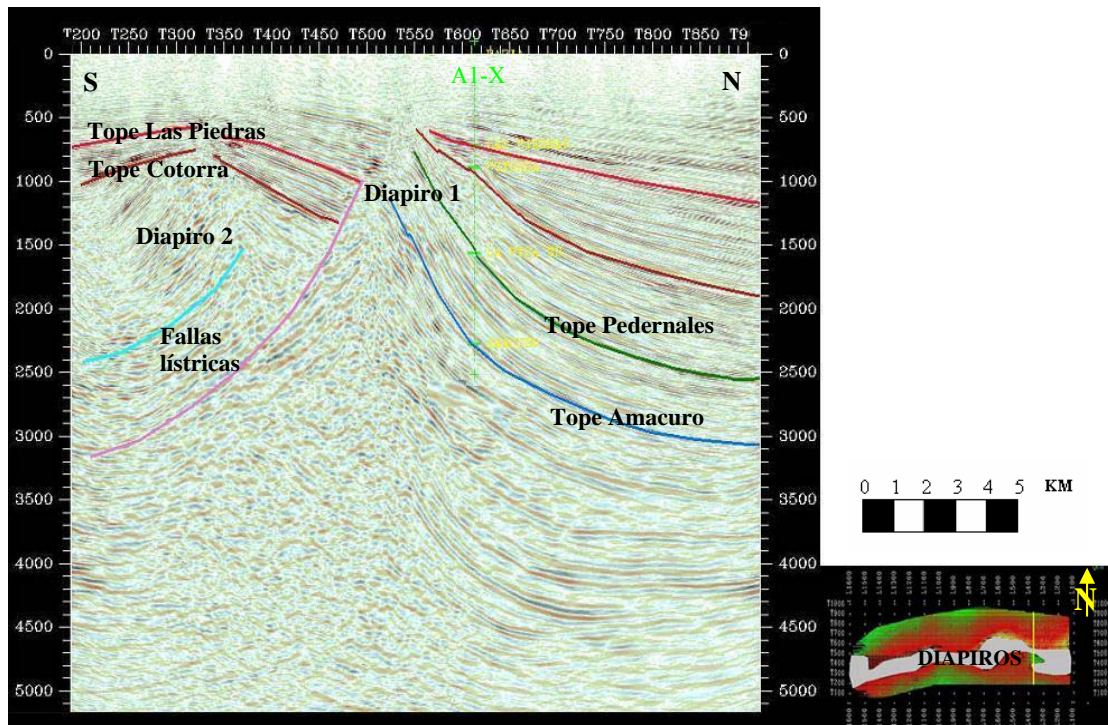


Figura 4.5 Sección sísmica Guanipa 3D. Línea 367

4.5.4 ABATUCO

La estructura del bloque de Abatuco corresponde a las dos últimas escamas en la serie de los corrimientos de la Serranía del Interior, que forman parte del cinturón de pliegues y cabalgamientos de la subcuenca de Maturín, formado durante el Mioceno Medio. Estas escamas se les asigna como escama Intermedia y escama Inferior, ambas diferenciadas por su material sedimentario y separadas por el Corrimiento de Pirital, según Díaz, J (2006).

Para fines didácticos, Abatuco se dividió en dos eventos geológicos diferentes según las estructuras, separadas por la discordancia del Mioceno Superior, definidas como abatuco somero que comprende las formaciones Las Piedras, La Pica y Carapita (Mioceno Superior-Pleistoceno), y abatuco profundo que abarca (Cretácico-Mioceno Medio). El área de Abatuco somero está cortado por fallas extensionales de rumbo noroeste-sureste casi perpendiculares a la dirección de los corrimientos, estas fallas son vistas en toda la estructura y parecen estar relacionadas con el cizallamiento compresional durante el periodo Plio-Pleistoceno, como producto de la

reacomodación del material. Por debajo de las fallas extensionales está la discordancia de edad Mioceno Superior que buza en dirección SE y cubre todo el área de Abatuco, siendo la interfase que separa dos marcos estructurales diferentes. El área de abatuco profundo es aún mucho más compleja a nivel estructural, según el informe de BP (1997) en dirección NO, esta área corresponde a una zona de estructuras imbricadas someras, las cuales están separadas de las estructuras frontales profundas por un gran desplazamiento del corrimiento, esto aparece tanto en Abatuco como en Quiriquire. La deformación estructural en dirección NO de Abatuco es más fuerte que en la dirección SE, zona de estructuras imbricadas someras, asignada esta zona como escama intermedia (tipo Mosu y Guanaco), separada por el Corrimiento de Pirital de la zona frontal de la estructura y que se caracteriza por desplazamientos con involucramiento de basamento Pre-Cretácico, ubicada hacia el SE, y asignada a esta zona como escama inferior. Ambas escamas debieron de tener niveles de despegues totalmente diferentes y lo suficientemente lejos para presentar diferentes regímenes depositacionales y por ende sus propios sistemas de entrapamiento.

4.5.5 RELACIÓN ARENA – LUTITA DEL POZO A-2X DEL ÁREA DE ABATUCO

Con los registros sísmico y GR del pozo A-2X que presentan la limitación de que la lectura de corrida a lo largo del pozo sólo cubre el intervalo (10100 – 14300) pies, se calculó la relación arena – lutita, determinando el límite estadístico entre gas-petróleo o gas-agua. Sin embargo, se considera un resultado correcto, debido a que se tomó la relación arena-lutita del pozo Q-1X del campo vecino, que corresponde a la continuidad geológica presente en el área de Abatuco, y dio como punto de intersección un valor de 12650 pies. El registro GR se usó para separar los paquetes de arenas y lutitas, permitiendo tomar sobre el registro sísmico, su respectivo valor de viaje de tránsito en unidades de ms/pies, que usando el inverso de este valor y multiplicado por 1×10^6 se obtuvo el valor de velocidad sísmica en unidades de pies/seg (tabla 4.5). Luego se graficó el valor de la velocidad Vs. profundidad, tanto para las arenas como para las lutitas, intersectándose en un punto en común que se

encuentra a una profundidad alrededor de los 13650 pies (gráfico 4.2), permitiendo determinar, que a partir de esta profundidad hacia profundidades menores, es posible detectar puntos brillantes (brightspot) al encontrar altos valores de impedancia acústica en los horizontes.

ARENA			LUTITA		
Profundidad (pies)	Δt ($\mu\text{seg/pies}$)	Velocidad intervállica (pies/seg)	Profundidad (pies)	Δt ($\mu\text{seg/pies}$)	Velocidad intervállica (pies/seg)
12830	72	13888.88	12500	85	11764.71
13820	80	12500	12950	82	12195.12
14150	93	10752.68	13700	77	12987.01

Tabla 4.5 Relación arena y lutitas del pozo A-2X, área de Abatuco

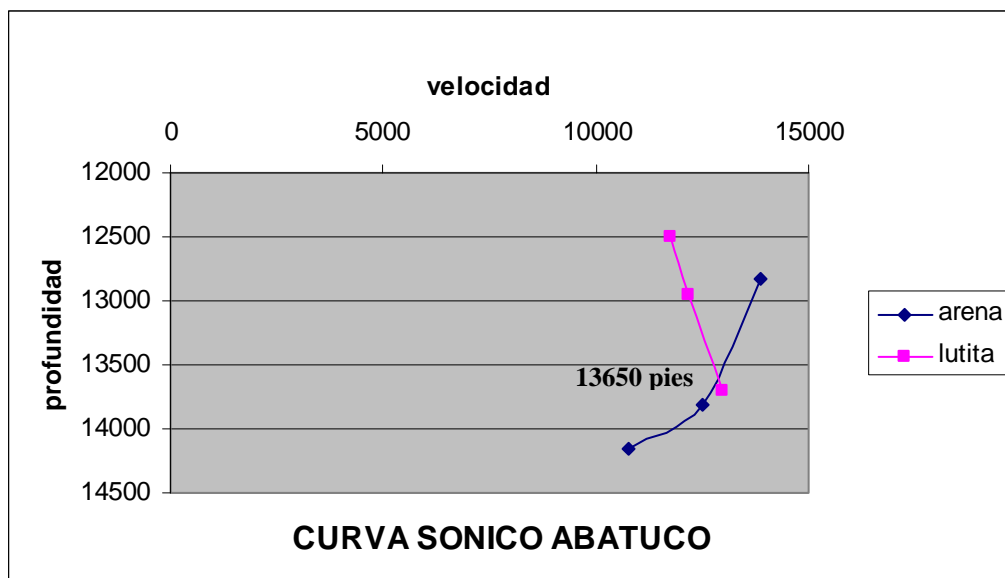


Gráfico 4.2 Curva de intersección entre las arenas y lutitas del pozo A-2X, área de Abatuco

Esta relación permite apreciar la relación de velocidad que hay entre las arenas y las lutitas para intervalos de profundidad que se incrementan, observándose

que la velocidad de las arenas aumenta a medida que esta sometida a mayor profundidad, esto debido a que sus granos se compactan aún más, reduciendo la porosidad de la misma, mientras que en el caso de las lutitas, al expandirse más sus granos hay mayor espacio intergranular, reduciendo la velocidad.

4.5.6 SECCIONES SÍSMICAS DE ABATUCO 3D

El área de Abatuco presenta un margen geológico completamente diferente al de Guanipa; como la sísmica se hizo con un mallado inclinado, tenemos que en dirección de las líneas (SO-NE), los horizontes más jóvenes van a estar cortados por una serie de fallas normales, como repuesta de la acomodación del material debido a los esfuerzos de compresión que esta sometida la zona, estas fallas normales se incrementan a medida que nos dirigimos en dirección noroeste (figura 4.6) y disminuyen en dirección sureste (figura 4.7), esto debido a que en dirección NO está mucho más presionado el material, y a medida que nos dirigimos en dirección SE, se reduce el grado de compresión estructural debido a que la Cuenca Oriental alcanza su mayor profundidad, permitiendo un mayor espacio de acomodación.

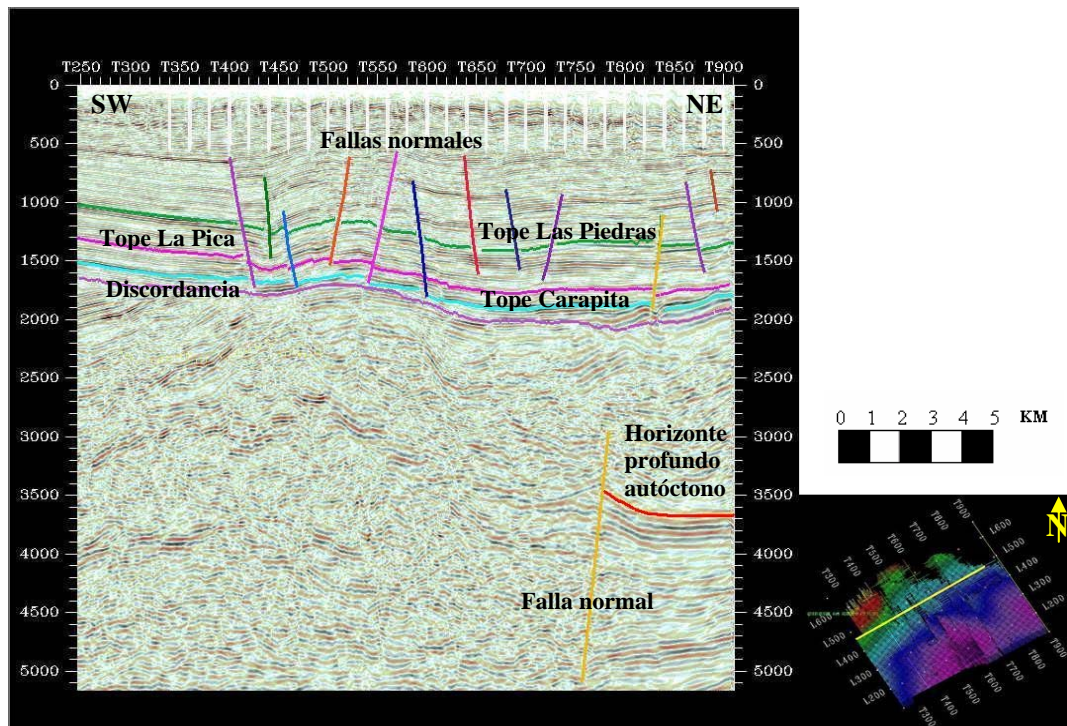


Figura 4.6 Sección sísmica Abatuco 3D. Línea 460

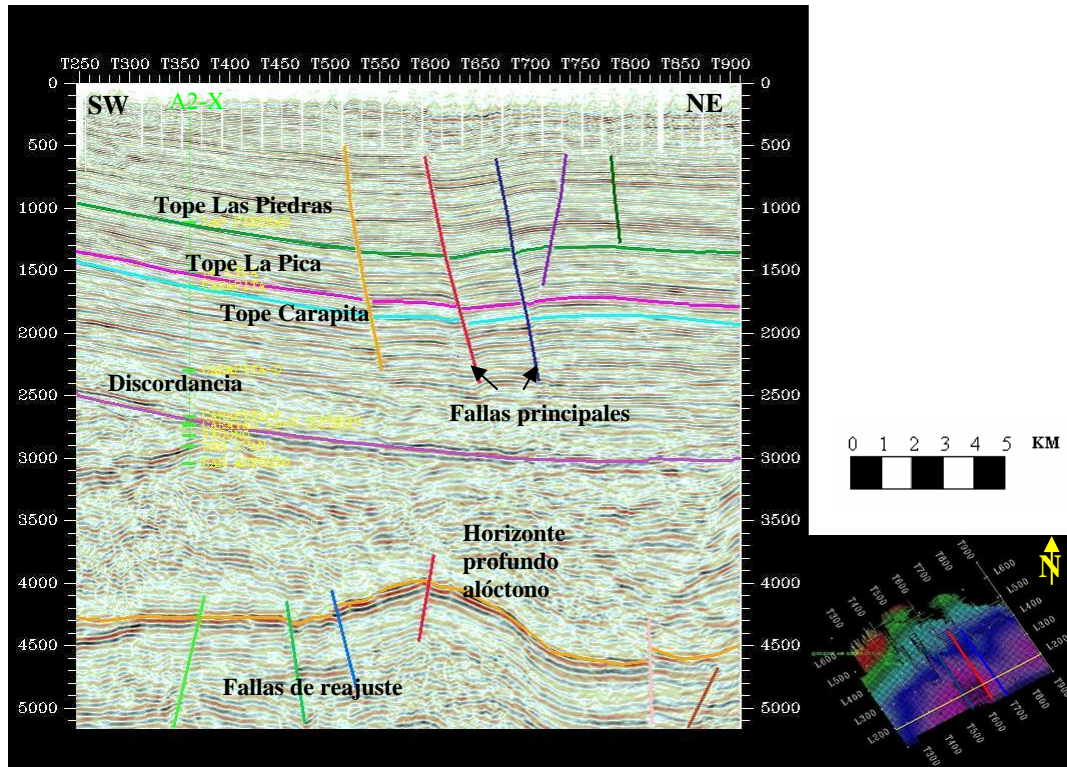


Figura 4.7 Sección sísmica Abatuco 3D. Línea 190

Sin embargo, hacia el sureste, dirección de las trazas (NO-SE), en la zona superior que denotaremos como abatuco somera, en dirección noroeste, las capas evidencian ser de menor espesor y aumentan de espesor en dirección sureste, esto debido al mismo buzamiento de la Cuenca Oriental dirección SE (figura 4.8).

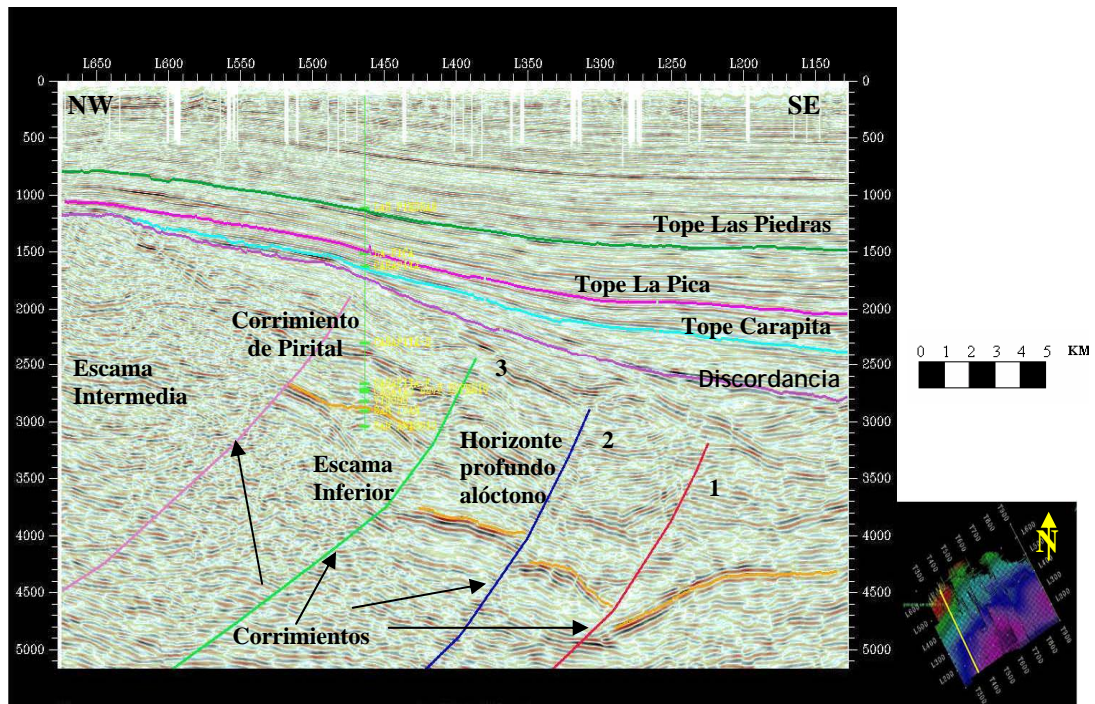


Figura 4.8 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 370

En la zona de abatuco profundo de edad Terciaria, en la dirección de las trazas, se ilustran los 2 horizontes interpretados en abatuco profundo, ubicados a una profundidad (2500 – 4800) ms, así como los corrimientos que forman parte de la escama intermedia y escama inferior de la secuencia de escamas de la Serranía del Interior. Sobre la escama intermedia que según la literatura presenta en la secuencia litológica, sedimentos del Cretácico, no se trazó ningún horizonte, sin embargo, si se denota el corrimiento de Pirital, quien separa una escama de la otra (figura 4.8). Dentro de lo que se definió como escama inferior, que también incluye en su litología material Cretácico, se interpretó el horizonte que se le asignó el nombre de horizonte profundo alóctono (2500-4700) ms, mientras que el horizonte profundo autóctono (3300-3700) ms, ubicado más al noreste, se le asigna como material propio de la zona, que no fue transportado por ningún corrimiento. Estos corrimientos tienen dirección NO-SE, notándose un menor espacio entre cada corrimiento, cuanto más cercano este en dirección SO, debido al esfuerzo de empuje principal, proveniente del NO (figura 4.8 y figura 4.9)

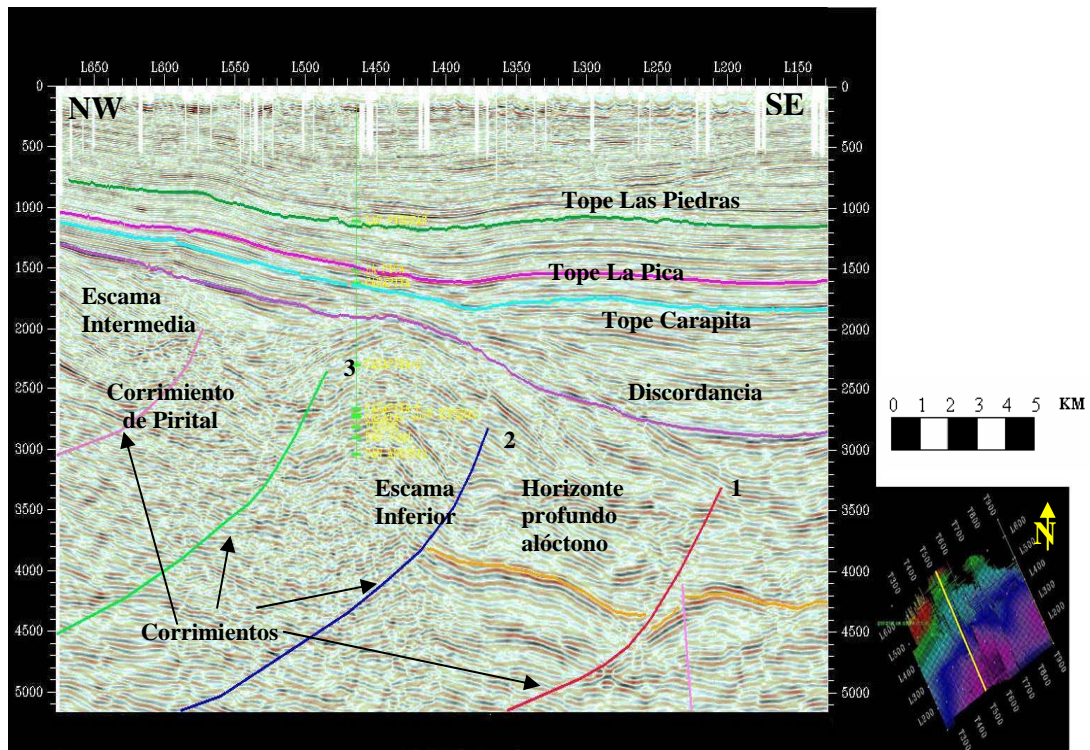


Figura 4.9 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 520

A medida que nos dirigimos en dirección NE, el espacio entre los corrimientos se incrementa, dándole lugar a la formación de pliegues completos con formas de anticlinales (figura 4.10). Estos anticlinales se muestran en forma más completa en dirección de las líneas (figura 4.7) y aparecen luego en el área de Guanipa, extendiéndose hasta el Campo de Pedernales.

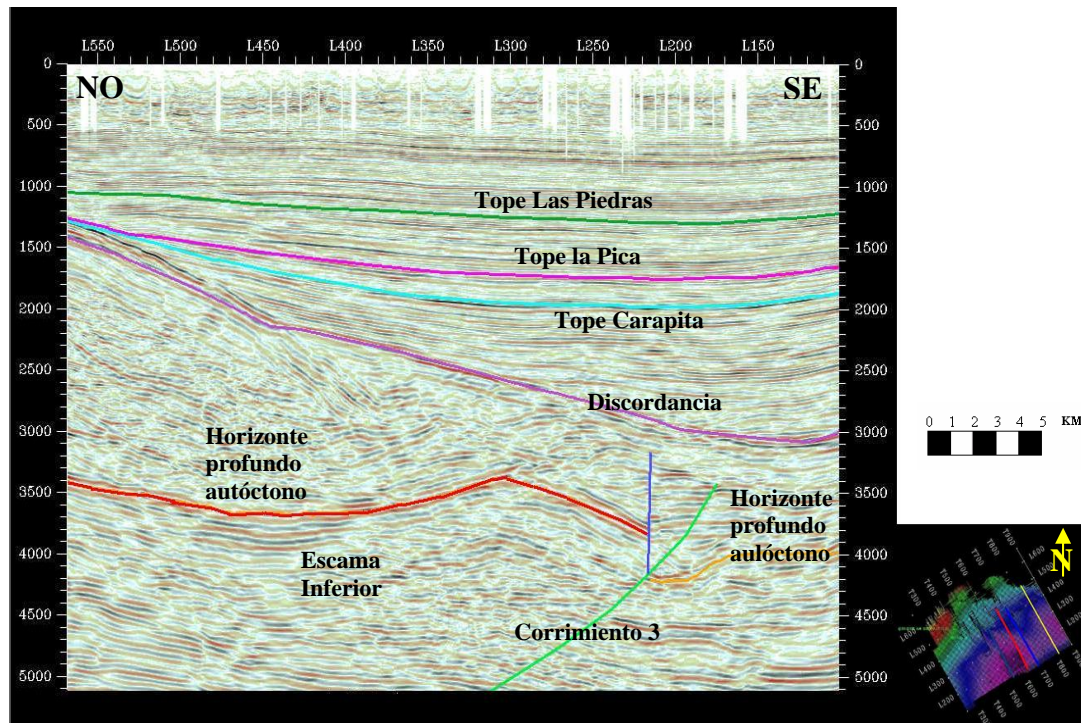


Figura 4.10 Sección sísmica Abatuco 3D. Traza 830

4.5.7 GUARAPICHE 2D

Las 22 líneas sísmicas 2D se interpretaron con la finalidad de definir a nivel regional los eventos sedimentarios y anomalías estructurales del área de Guarapiche, correlacionando en la sísmica 3D de Guanipa, el flanco sur con el flanco norte del tren de diapiros, y uniendo las interpretaciones del área de Guanipa y Abatuco (figura 4.10). Mientras que en la figura 4.11 muestran a nivel general el modelo sísmico del área de Guarapiche.

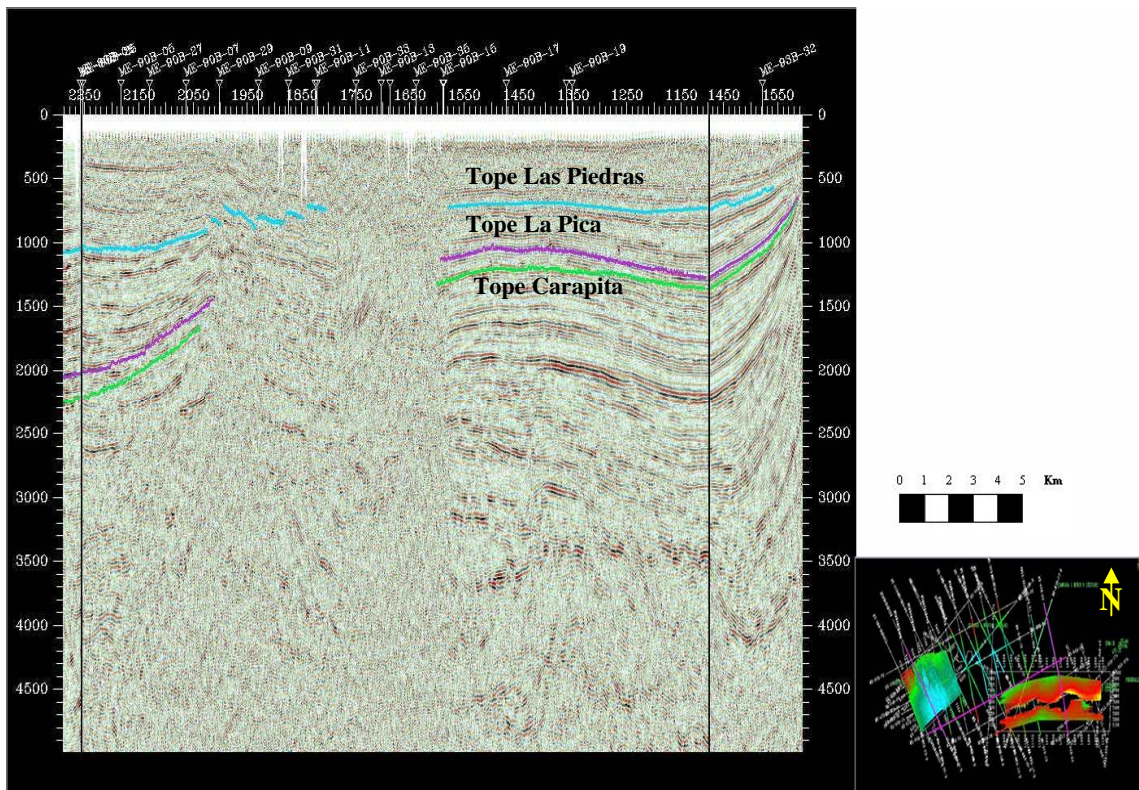


Figura 4.11 Sección sísmica Guarapiche 2D. Intersección de las líneas ME-90B-27 (NW-SE), ME-90B-06 (W-E) y ME-90B-23 (N-S)

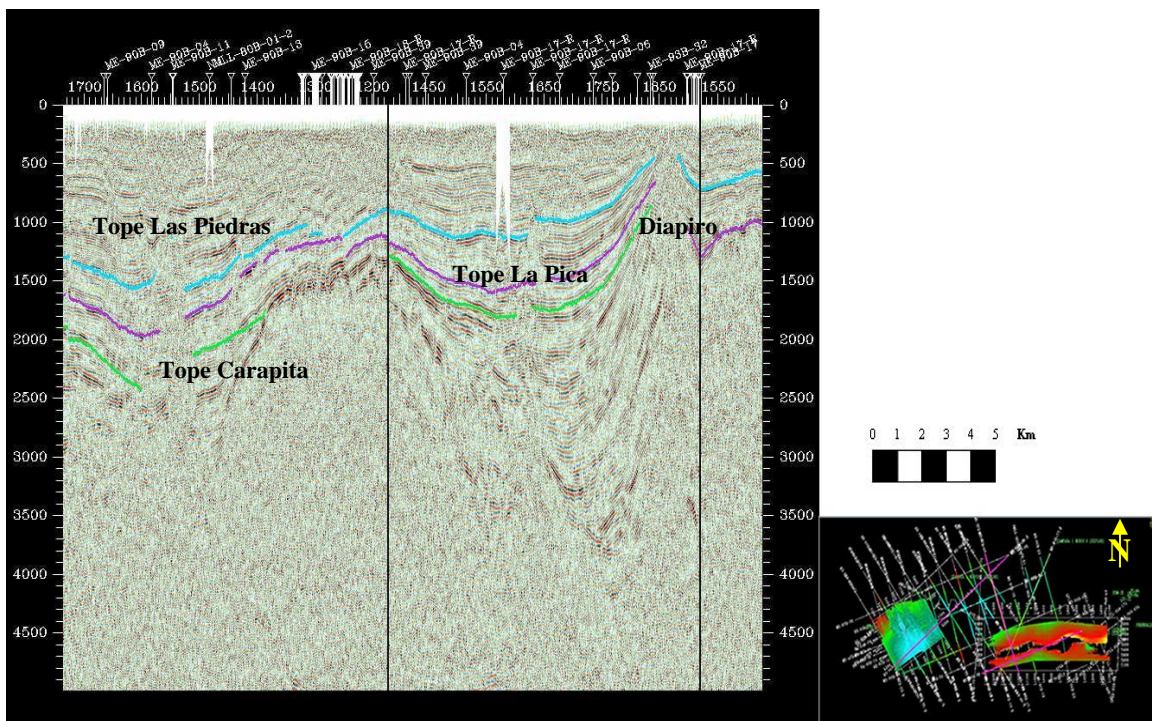


Figura 4.12 Sección sísmica Guarapiche 2D. ME-90B-18 (SW-NE), ME-90B-17 (N-S) y ME-90B-08 (W-E)

4.6 TIEMPOS DE DEFORMACIÓN Y DEPOSITACIÓN

La estructura del área de Guanipa corresponde a un tren de diapiros de barro de dirección este-oeste, definida claramente en la sísmica, y que equivale a una edad Plio-Pleistoceno (figura 4.12). Esta surge como producto de la removilización de las lutitas del Mioceno Inferior que caracterizan a la Formación Carapita donde las condiciones de sedimentación fueron de mar abierto, acumulándose una espesa sección de lutita.

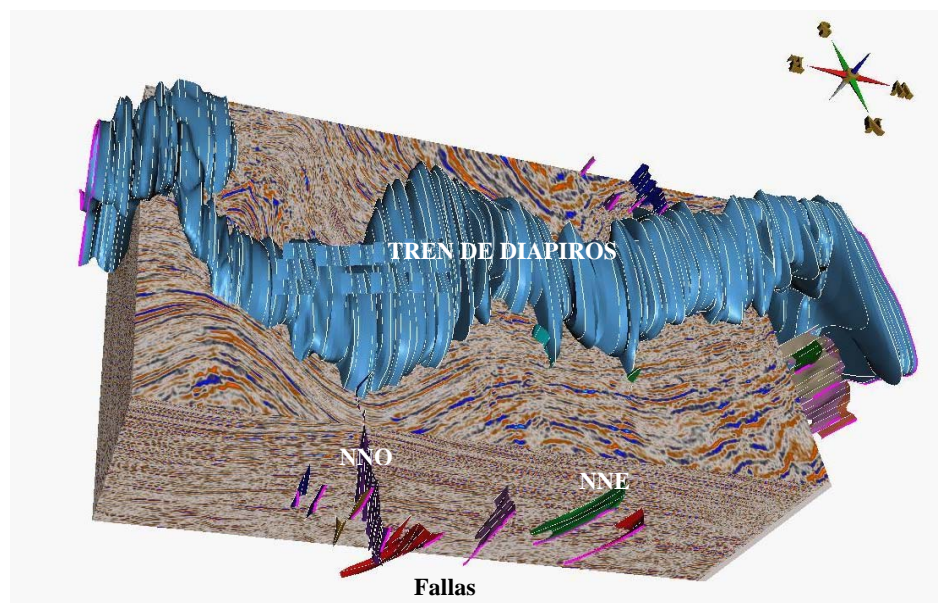


Figura 4.13 Tren de diapiros en el área de Guanipa

Estos diapiros están localizados en todo el centro de los anticlinales que se encuentran localizados a lo largo del eje de la Cuenca Oriental, generando a su vez un esfuerzo tensional hacia la cresta de los anticlinales, originando la formación de volcanes de barro. La zona profunda del tren de diapiros equivalente a una edad Mioceno Superior esta intensamente deformada, mientras que en la zona superior se resaltan varias fallas normales de edad Plio-Pleistoceno y dos fallas normales mayores de dirección nor-noroeste (con una extensión de 2000 ms) y nor-noreste (con una extensión de 1500 ms) de edad Plioceno, que disectan la estructura, cortando los

Miembros de Pedernales y Amacuro, pertenecientes a la Formación La Pica (figura 4.13).

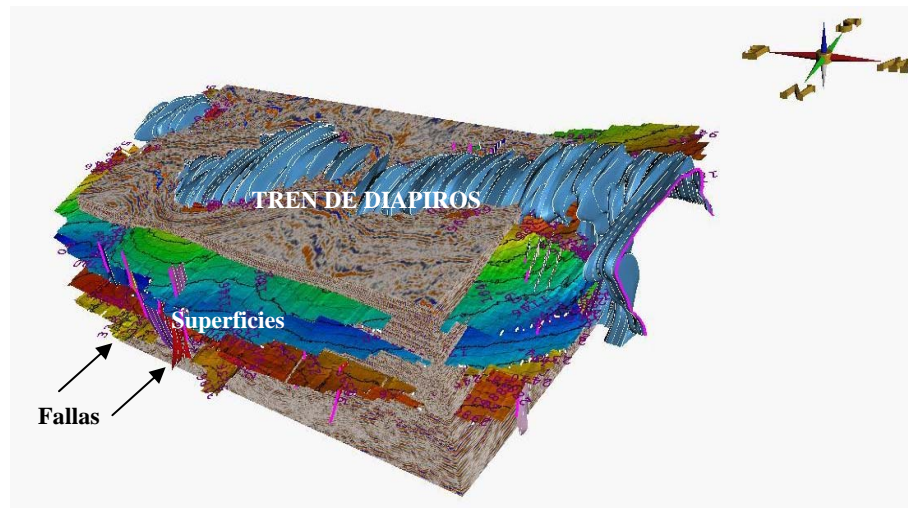


Figura 4.14 Superficies del área de Guanipa cortadas por fallas normales

El área de Abatuco presenta mayor complejidad geológica, debido que está cortada por los corrimientos provenientes de la Serranía del Interior en la parte que definimos como abatuco profundo observándose pliegues en forma de anticlinales que luego aparecerán en el área de Guanipa, esto separado de lo que definimos como abatuco somero, por la discordancia regional del Mioceno Superior (figura 4.14).

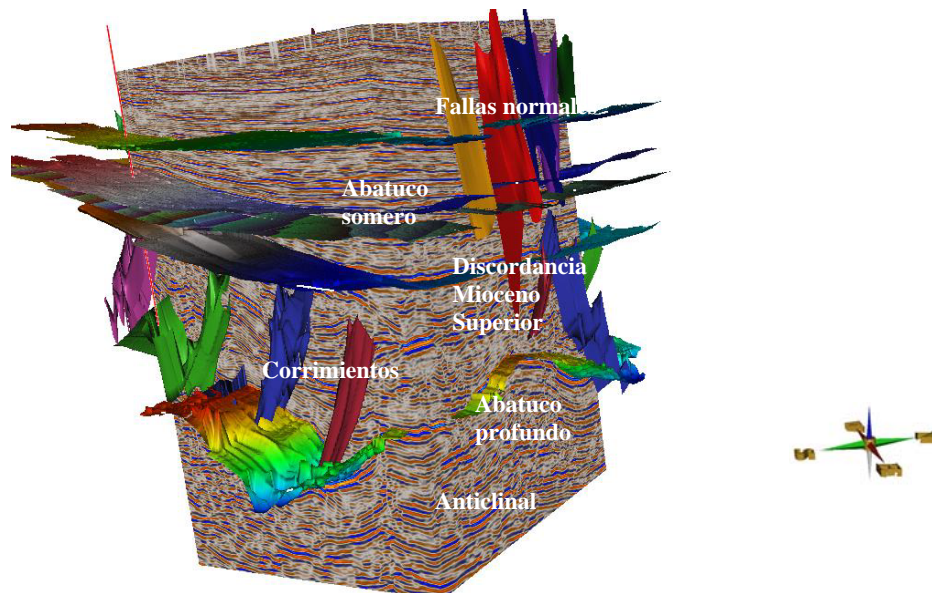


Figura 4.15 Distribución de los corrimientos, fallas normales y superficies en el área de Abatuco

Entre el Mioceno Superior y el Pleistoceno, el marco estructural se encuentra separado geológicamente por dos discordancias, la inferior que corresponde a la discordancia intra-Carapita y la superior ubicada debajo del tope de Las Piedras que también se observa hacia el lado oeste del área de Guanipa. Entre ambas discordancias se formó una serie de fallas normales en dirección perpendicular a los corrimientos, y tres fallas normales mayores que cortan completamente las formaciones Las Piedras, La Pica y Carapita (figura 4.15).

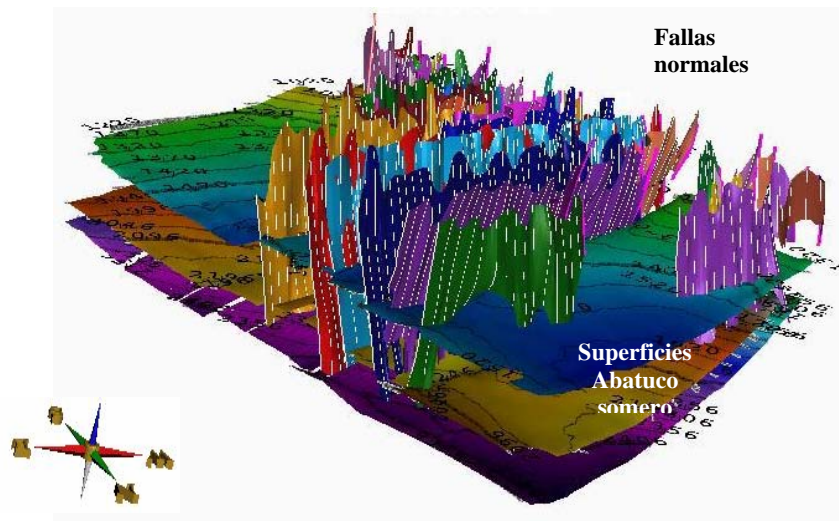


Figura 4.16 Superficies de las formaciones del área de Abatuco somero cortadas por fallas normales

La estructura de abatuco profundo, hacia el lado noroeste consiste en un conjunto de láminas cabalgantes vergentes hacia el sureste emplazadas entre el Cretácico Superior y el Mioceno, presentando así distintos regímenes depositacionales, que corresponden a las escamas de la Serranía del Interior (figura 4.16), cubriendo en dirección noroeste-sureste la zona de imbricaciones someras que presenta menor deformación y que designamos como escama intermedia separada de la escama inferior por el Corrimiento de Pirital y la zona de estructuras frontales más profundas que designamos como escama inferior y es donde definimos el horizonte profundo alóctono (2500-4700)ms, mientras que el horizonte profundo autóctono (3300-3700) ms, no entra dentro de estas secuencias de corrimientos que provienen de la Serranía del Interior.

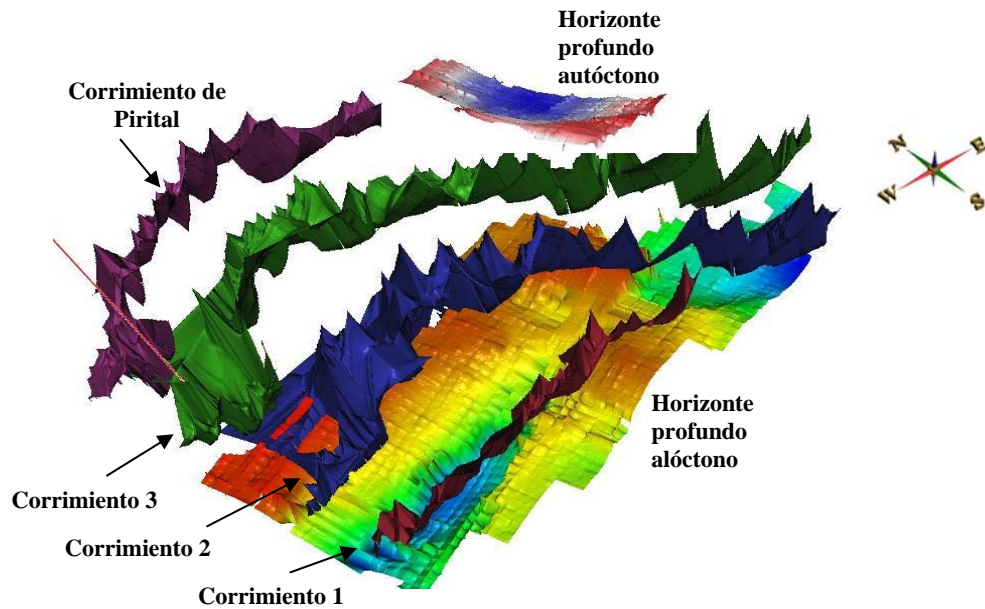


Figura 4.17 Superficies de los horizontes de Abatuco profundo cortadas por los corrimientos

El horizonte profundo alóctono se divide en dos partes, una más hacia el NO que viene descendiendo desde una profundidad de (2500-4500) ms, es cortada por el corrimiento 2 (azul) y por el corrimiento 1 (rojo), separándolo de la parte más hacia SE que se encuentra a mayor profundidad entre (4000-4700) ms. Mientras que el horizonte autóctono se encuentra a una profundidad más somera de (3300-3700) ms, ubicándose por debajo del Corrimiento de Pirital (rosado).

4.7 MAPAS ESTRUCTURALES EN TIEMPO

4.7.1 GUANIPA 3D

Los mapas estructurales de los horizontes interpretados no son más que la representación vista en planta del horizonte; estos están en unidades de tiempo doble (ms) y definen la estructura del tren de diapiros con orientación este-oeste en el área de Guarapiche con ambos flancos en dirección norte-sur. En el horizonte de la Formación Las Piedras y en el Miembro Cotorra, se observa hacia el este una anomalía estructural, representada por un cambio de coloración en el mapa, de una tendencia roja a una verde (figura 4.17 y figura 4.18), esta anomalía corresponde a la aparición de una zona de doble diapiro.

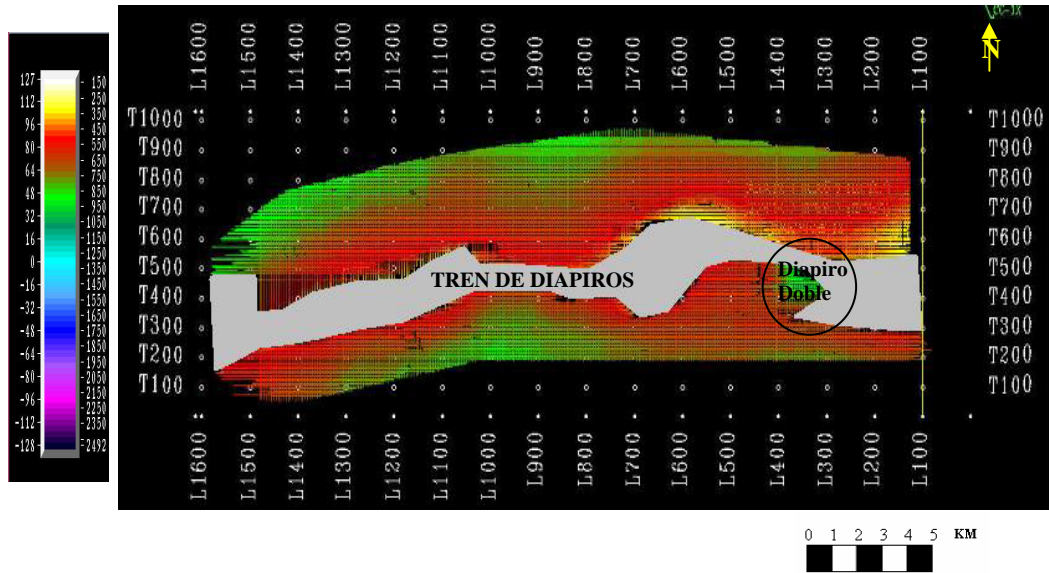


Figura 4.18 Mapa estructural en unidades de tiempo (ms) de la Formación Las Piedras

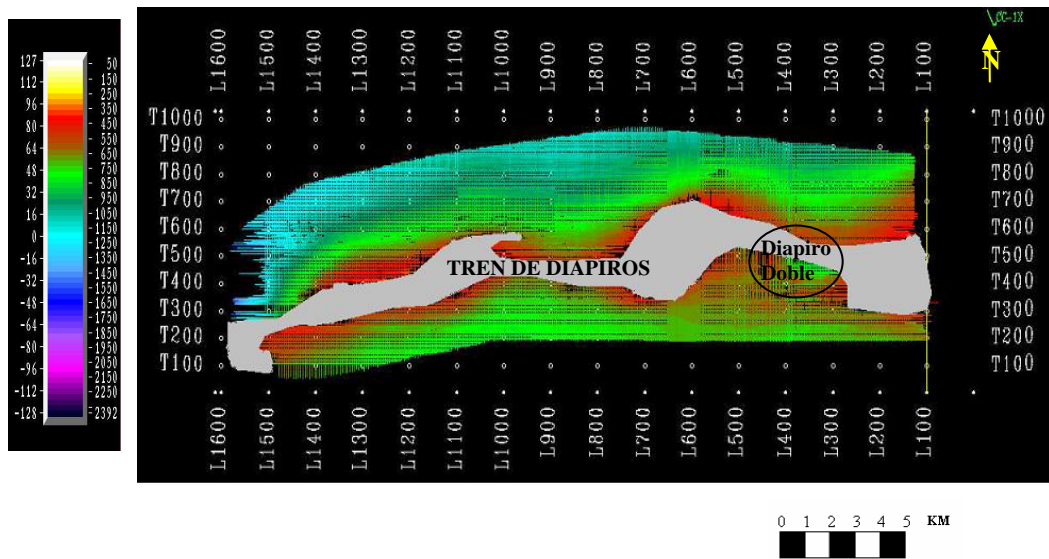


Figura 4.19 Mapa estructural en unidades de tiempo (ms) del Miembro Cotorra (Fm. Las Piedras)

Sin embargo, esto no es notable en los mapas de los Miembros Pedernales y Amacuro donde el ancho del tren de diapiros es mayor (figura 4.19 y figura 4.20), debido a la forma cónica que presentan estas estructuras; más bien a nivel de estos horizontes se ve un incremento de fallas normales con dirección casi vertical sobre el

flanco norte de la estructura, demarcando dos fallas principales que cortan ambos horizontes y que tienen una dirección noroeste-sureste (falla izquierda de color verde) y dirección noreste-suroeste (falla derecha de color morada).

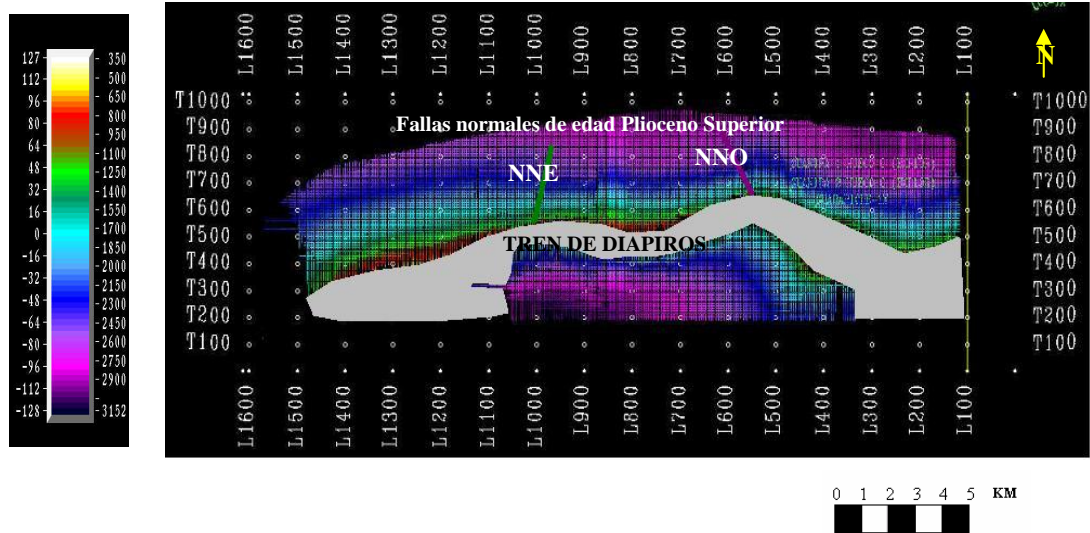


Figura 4.20 Mapa estructural en unidades de tiempo (ms) del Miembro Pedernales (Fm. La Pica)

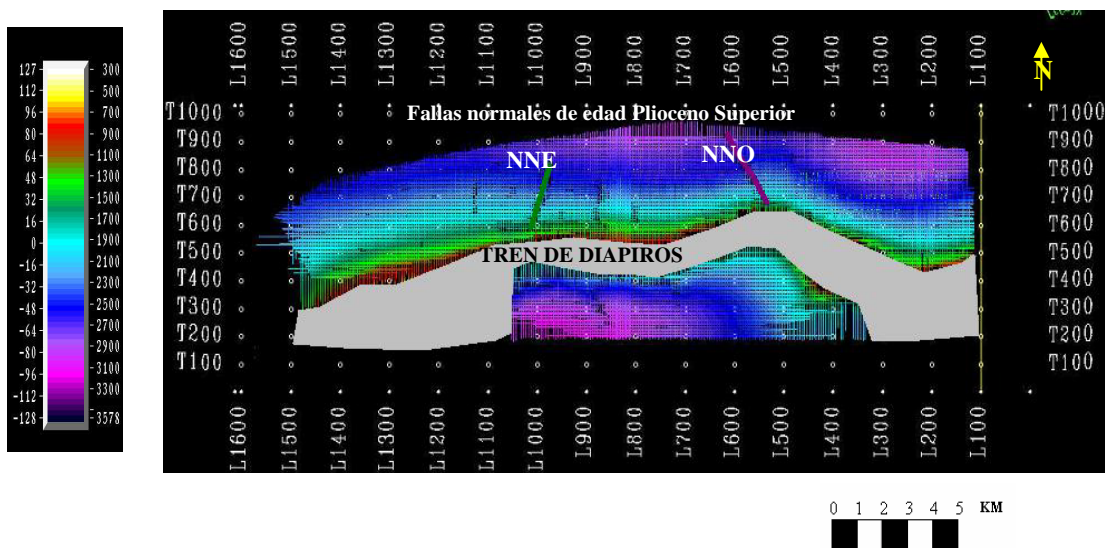


Figura 4.21 Mapa estructural en unidades de tiempo (ms) del Miembro Amacuro (Fm. La Pica)

4.7.2 ABATUCO 3D

Los mapas estructurales de los horizontes del área de Abatuco también están representados en unidades de tiempo doble (ms). La interpretación de los horizontes superiores (abatuco somero), presentan características similares, estas corresponden a

capas inclinadas con espesores que se engrosan hacia el sureste y se hacen cada vez más delgadas hacia el noroeste, desplazadas por una serie de fallas normales y entre ellas, tres fallas principales que cortan la estructura completamente en dirección noroeste-sureste.

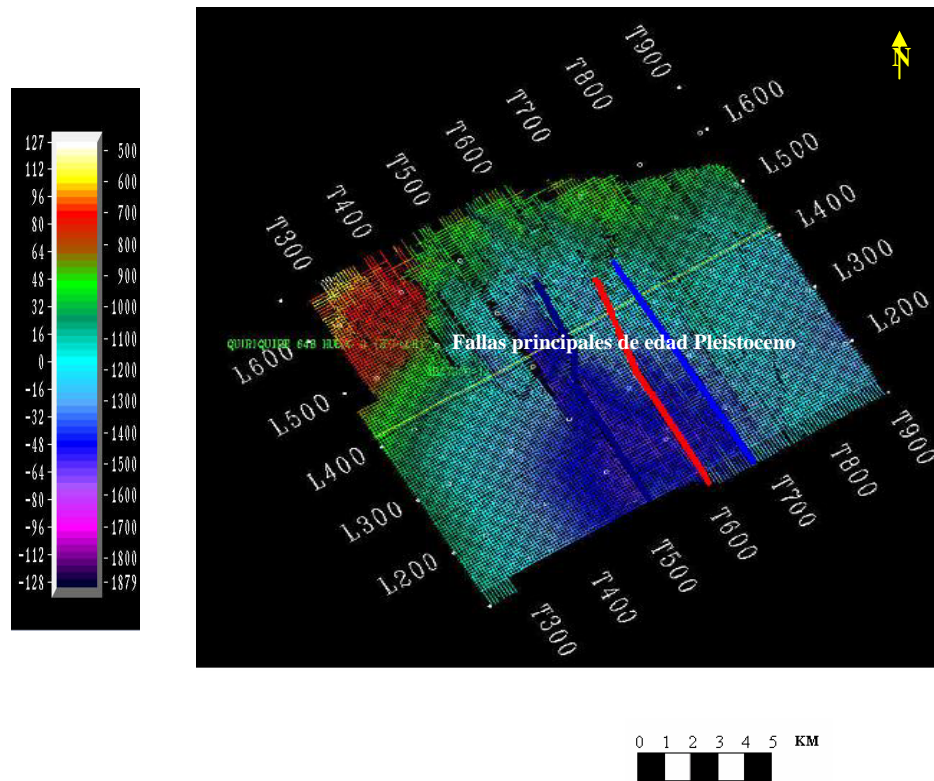


Figura 4.22 Mapa estructural en tiempo (ms) de la Fm. Las Piedras (Abatuco)

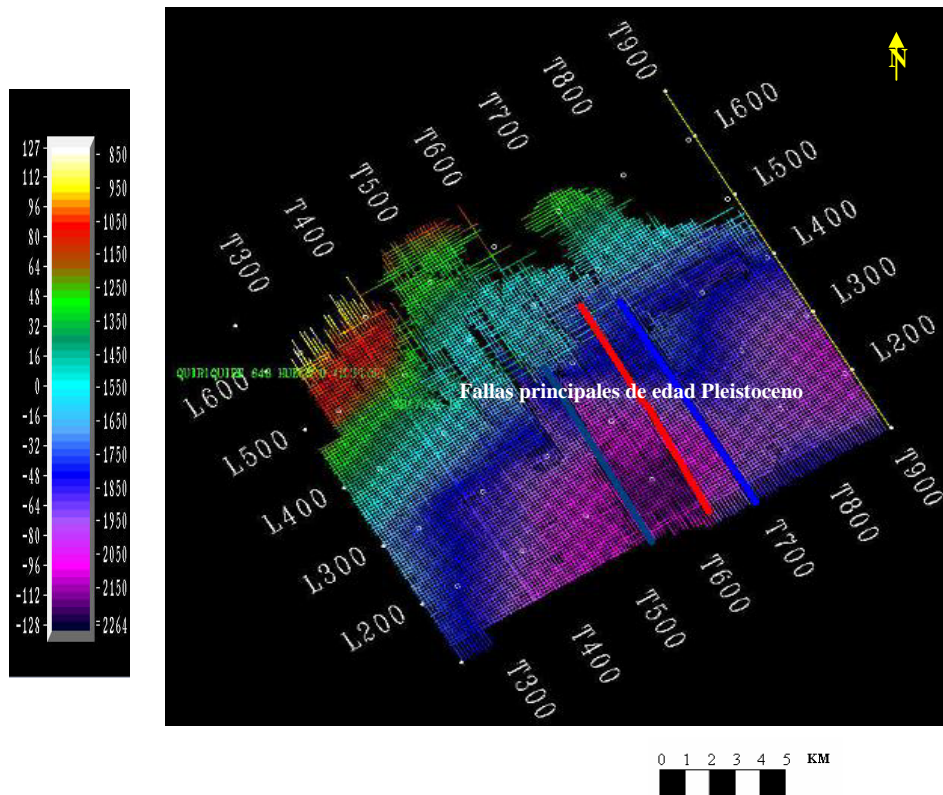


Figura 4.23 Mapa estructural en tiempo (ms) de la Fm. La Pica (Abatuco)

Justamente debido a la presencia de esta estructura levantada, los horizontes se adelgazan en dirección noroeste, concentrándose la mayor cantidad de material en dirección contraria, y debido a los esfuerzos transpresionales a nivel regional, este material es sometido a un fallamiento mayor en dirección casi perpendicular a la dirección de desplazamiento de las estructuras más profundas.

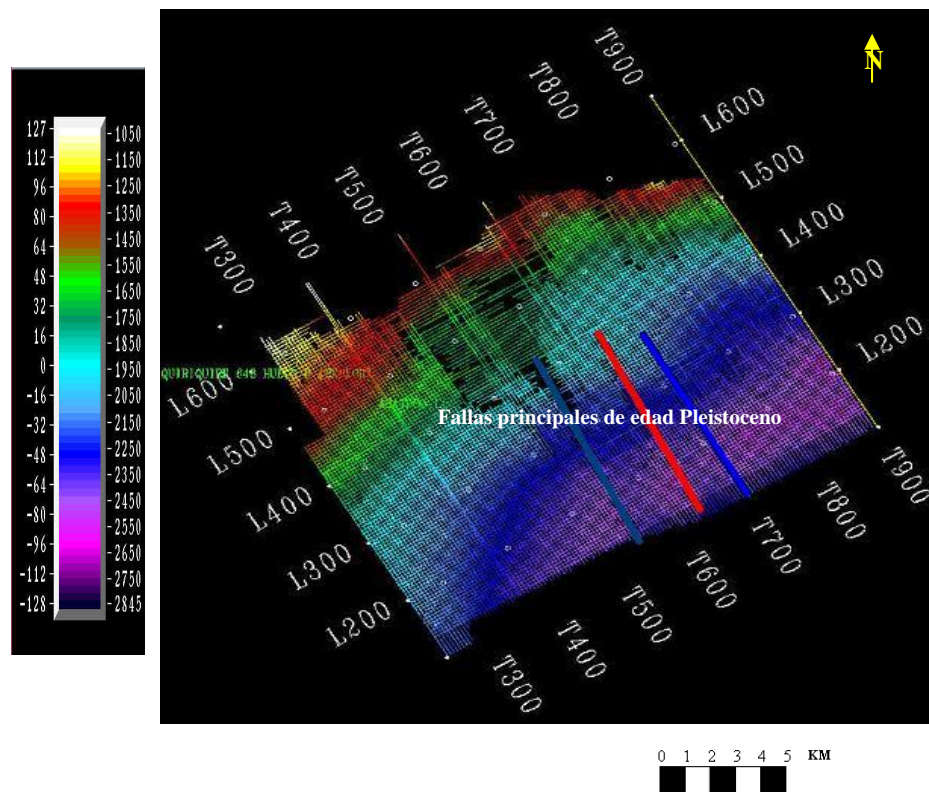


Figura 4.24 Mapa estructural en tiempo (ms) de la Fm. Carapita (Abatuco)

La discordancia de edad Mioceno Superior buza en dirección SE y se encuentra a una profundidad de (1500 y 3200) ms, es el límite entre Abatuco somero (Fm. Las Piedras, Fm. La Pica y Fm. Carapita), capas que buzcan hacia el SE y en esta dirección presentan su mayor espesor, mientras que hacia el NO disminuye el espesor, y Abatuco profundo (horizonte profundo alóctono y horizonte profundo autóctono) que es estructuralmente más compleja, por la presencia de los corrimientos que llevan una dirección NO-SE. La discordancia marca el límite de dos escenarios geológicos completamente diferentes.

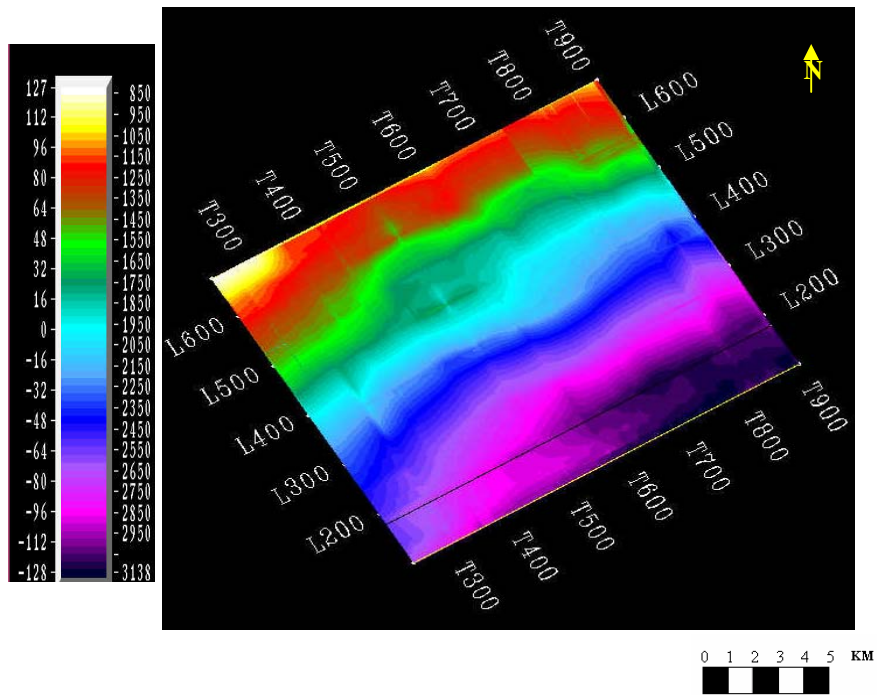


Figura 4.25 Mapa estructural interpolado en tiempo (ms) de la Discordancia del Mioceno (Abatuco)

Los horizontes interpretados por debajo de la discordancia es lo que se conoce como Abatuco profundo. El horizonte profundo autóctono está ubicado a una profundidad (3300-3700) ms, localizado en el extremo noreste del área de Abatuco y no se encuentra cortado por ninguno de los corrimientos.

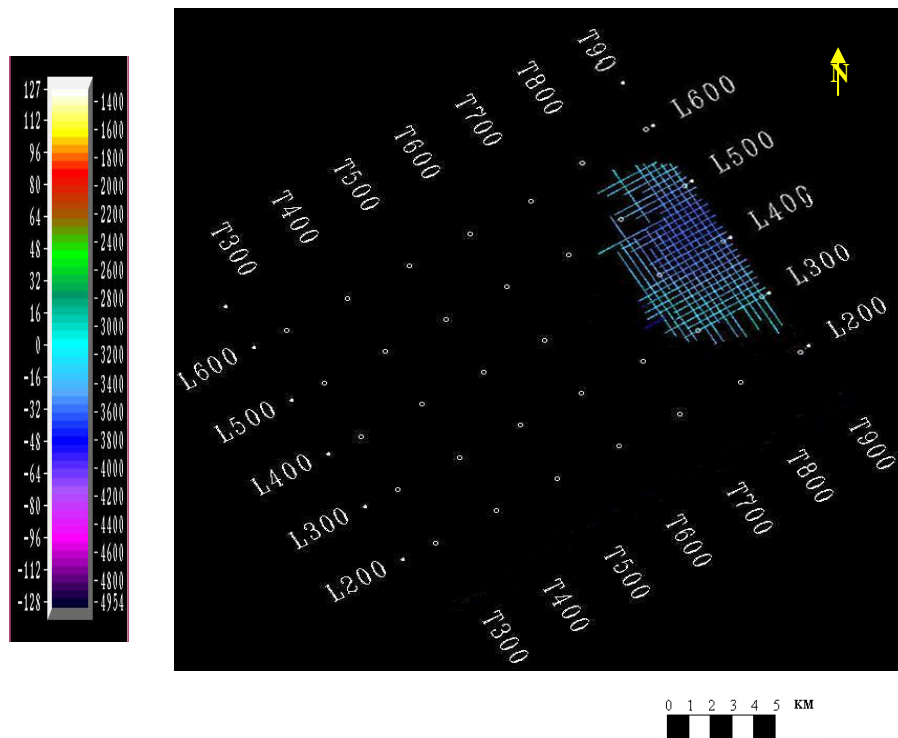


Figura 4.26 Mapa estructural en tiempo (ms) del horizonte Abatuco profundo autóctono

El horizonte profundo alóctono ubicado en la parte central de Abatuco cubriendo en mayor parte el extremo oeste, dicho horizonte se ubica entre (2500-4500) ms, más hacia el NO y entre (4000-4700) ms, más hacia el SE. Cortado por una serie de fallas (normales e inversas) de reacondo de pequeñas dimensiones y definida por la parte NO entre los corrimientos 2 y 3 pero a medida que se avanza en las trazas (dirección SE) se ubica entre los corrimientos 1 y 2, mientras que la parte SE, se define entre los corrimientos 1 y 2, y a medida que se avanza en esta dirección de las trazas se ubica delante del corrimiento 1, para luego desaparecer el corrimiento 1 y 2, y quedar delante del corrimiento 3.

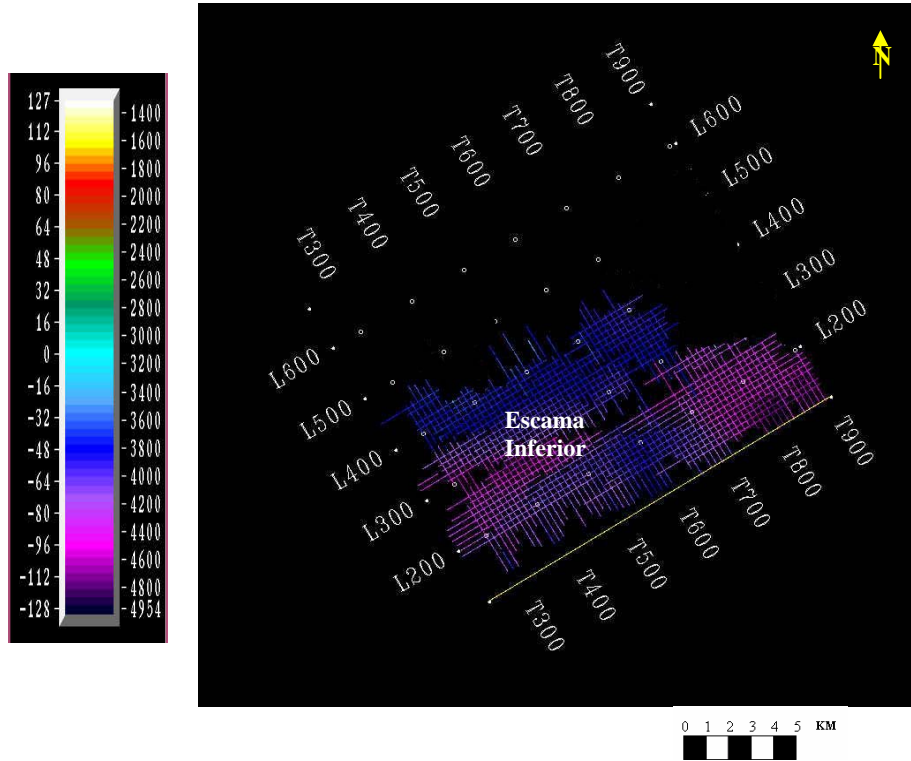


Figura 4.27 Mapa estructural en tiempo (ms) del horizonte Abatuco profundo alóctono

CAPITULO V

ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

5.1 INTRODUCCIÓN

Los atributos sísmicos son medidas específicas derivadas de los datos sísmicos, generadas a partir de las propiedades básicas de la traza compleja. Estos a su vez representan un subconjunto de información que permite la visualización de las características no fácilmente identificables en los datos originales. En consecuencia, pueden ser utilizados para enriquecer y refinar la interpretación de grandes volúmenes sísmicos. Su utilización permite revelar información que aportará un mejor ajuste para el modelo sedimentológico y estratigráfico del área, que de otro modo permanecerían oculto y en consecuencia también desaprovechada, así como también permite reducir la incertidumbre en cuanto a la ubicación de pozos exploratorios. La selección del tipo de atributo a utilizar se basa en que tipo de respuesta se desea obtener, y esto se logra con la combinación de varias respuestas físicas del medio las cuales permitirán caracterizar estructuras, resaltar diferencias o contrastes, así como indicar la presencia de fluidos, de manera de alcanzar los mejores resultados de la información sísmica básica; enfocando la mayor prioridad en aquellas zonas cuya respuesta sísmica difiera de las otras.

5.2 METODOLOGÍA

El estudio metodológico empleado en la elaboración de los atributos sísmicos se realizó sobre cada superficie que corresponde al tope de las formaciones geológicas y sobre los volúmenes sísmicos de Guanipa y Abatuco haciendo uso de la aplicación GeoProbe™ de Landmark, que tiene la opción de generar la extracción de atributos sobre las superficies, así como calcular atributos sobre un volumen sísmico. Dentro de las diferentes tipos de atributos que la aplicación permite realizar, para las superficies sólo se pudo obtener el atributo RMS (extracción de amplitud) y el de frecuencia, debido a que fueron los que mejor respuesta arrojaban; mientras que para cada volumen, se generaron los

atributos de amplitud, fase, frecuencia, coherencia y múltiple que corresponde al cociente de la amplitud entre la raíz de la frecuencia.

5.3 INTERPRETACIÓN DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

Uno de los atributos generados fue el cubo de coherencia o semblanza, en los dos volúmenes disponibles (figura 5.1 y 5.2), el atributo resalta la variación lateral y vertical, estas variaciones identifican la presencia de discontinuidades, fallas y altos buzamientos en la estructura. Se aplicó a cada volumen un atributo múltiple (amplitud / $\sqrt{\text{frecuencia}}$), permitiendo delimitar los rasgos más significativos con respecto a los cambios de facie, debido a grandes contrastes en el medio, este atributo se utiliza para diferenciar arcillas de arenas. Sobre las superficies se aplicó el atributo RMS (extracción de amplitud), tomando las propiedades físicas de la superficie; en las cuales resaltamos las zonas de mayores amplitudes, identificándolas como posible presencia fluidos (gas / petróleo / agua), integrado con la respuesta de frecuencia baja. Sin embargo, esto es una propuesta, en respuesta a las anomalías sísmicas que genera cada volumen, debido a que se carece de información petrofísica, así como de mayor cantidad de pozos dentro del área que nos pudiera permitir y/o correlacionar información de pozos vs. sísmica. El estudio se realizó para cada volumen, aplicando todas las combinaciones de atributo antes mencionadas, comparándolas con las respuestas de atributos sobre las superficies de los topes de las formaciones con un intervalo de (- 40, + 40) ms en los cálculos de RMS.

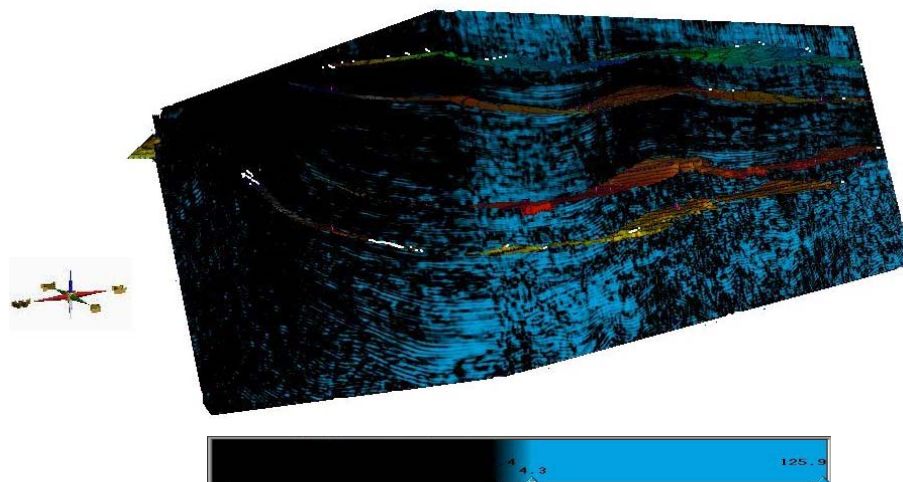


Figura 5.1 Atributo de coherencia aplicado para definir las estructuras y fallas del bloque de Guanipa.

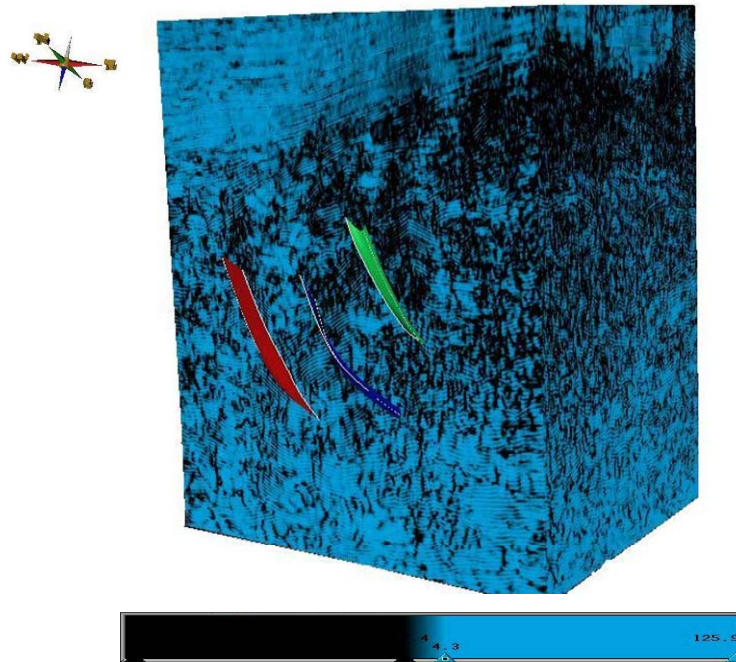


Figura 5.2 Atributo de coherencia aplicado para definir fallas y corrimientos del bloque de Abatuco

5.4 ATRIBUTOS SÍSMICOS EN EL VOLUMEN DE GUANIPA Y LAS SUPERFICIES

La generación de los atributos sísmicos sobre el volumen de Guanipa con los mapas integrando y desplegado sobre las superficies de la Formación Las Piedras, Miembro Cotorra, Pedernales y Amacuro, permitió resaltar zonas de interés debido a la propiedad de las anomalías que reflejan cambios de facies, altos valores de amplitud (RMS) y bajos valores de frecuencia. Visualizando sobre el volumen de atributo múltiple, aquellas anomalías más resaltantes, producto de cambios litológicos o posible presencia de fluido. Integrando las superficies de las formaciones más los atributos extraídos del volumen sísmico, permitió corroborar que la anomalía que generaba la respuesta del atributo múltiple en el volumen, también se observaba como una anomalía al desplegarse sobre los atributos (RMS, frecuencia) en las superficies.

En el área de Guanipa hacia el flanco sur de la estructura, a nivel de la Formación Las Piedras, se observa una anomalía sedimentaria en dirección sureste (figura 5.3), entre el intervalo (850 -900) ms.

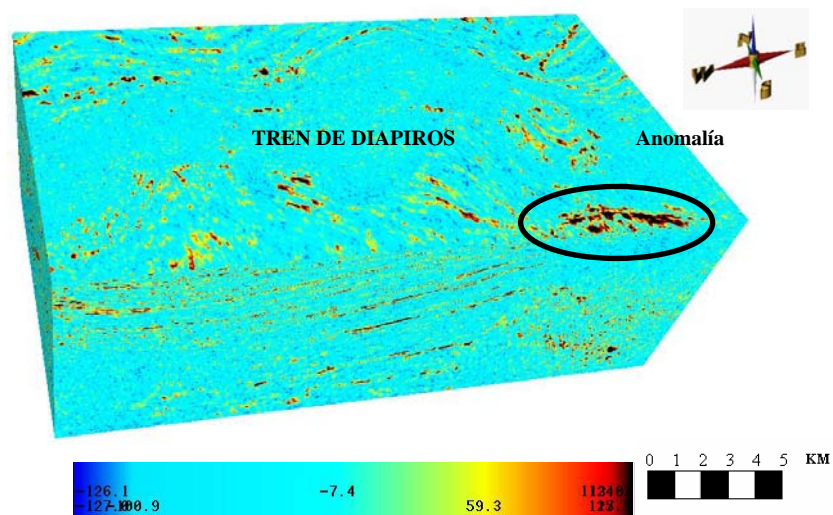


Figura 5.3 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa, resaltando la Formación Las Piedras (888 ms) (Flanco Sur)

Esta anomalía también muestra altas amplitudes sobre el atributo RMS que se le realizó a la superficie de la Formación Las Piedras (figura 5.4).

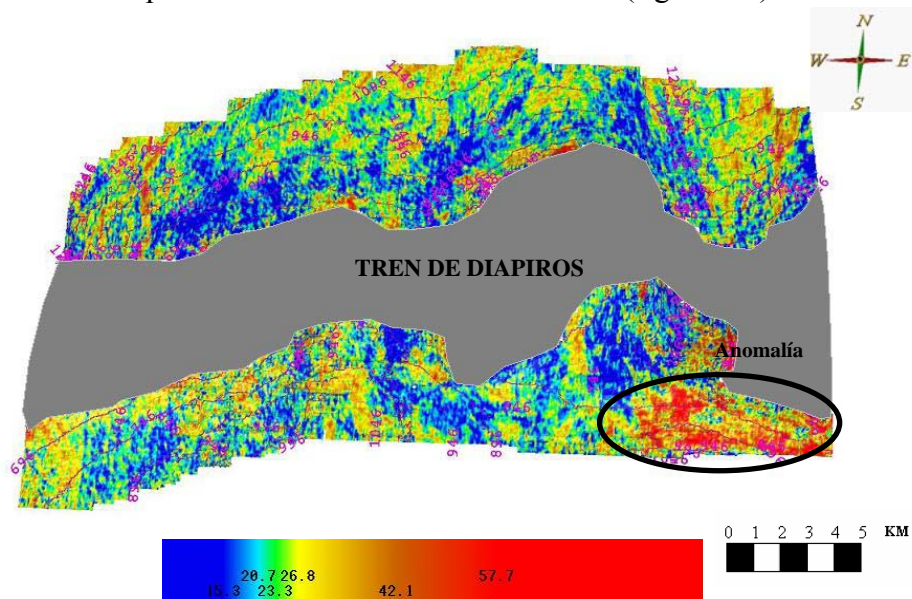


Figura 5.4 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Las Piedras

De la misma manera se generó el atributo de frecuencia sobre la superficie (figura 5.5), resaltando al mismo nivel, valores anómalos de frecuencias bajas, bordeado por valores de frecuencia altas que representan zonas de baja porosidad, los cuales actuarían como buen sello estratigráfico.

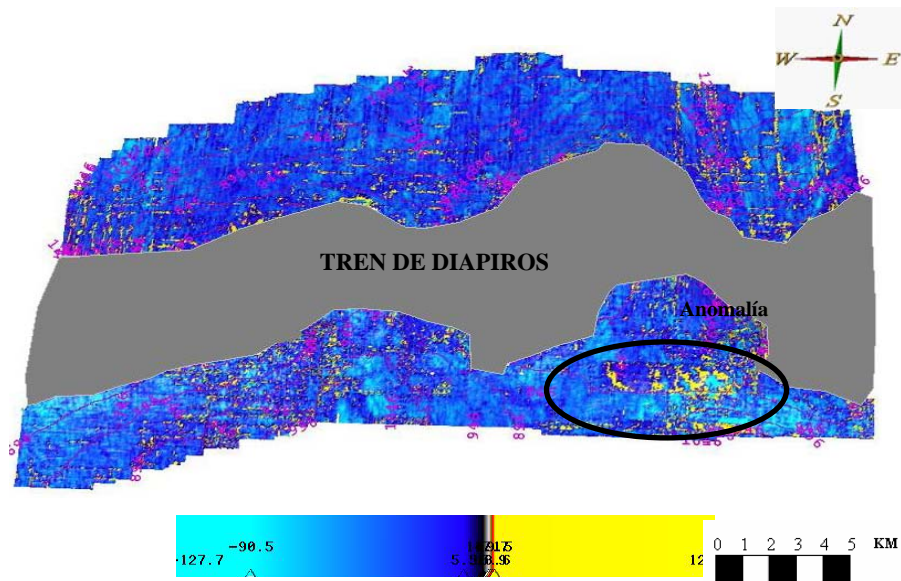


Figura 5.5 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Las Piedras

A medida que se profundizaba a lo largo del volumen de atributo múltiple apareció otra anomalía (figura 5.6 y 5.7) en el mismo flanco sur de la estructura de Guanipa pero en dirección contraria sur-oeste, y a nivel del Miembro Cotorra, presentando un mayor espesor, comprendido entre (1400-1700) ms.

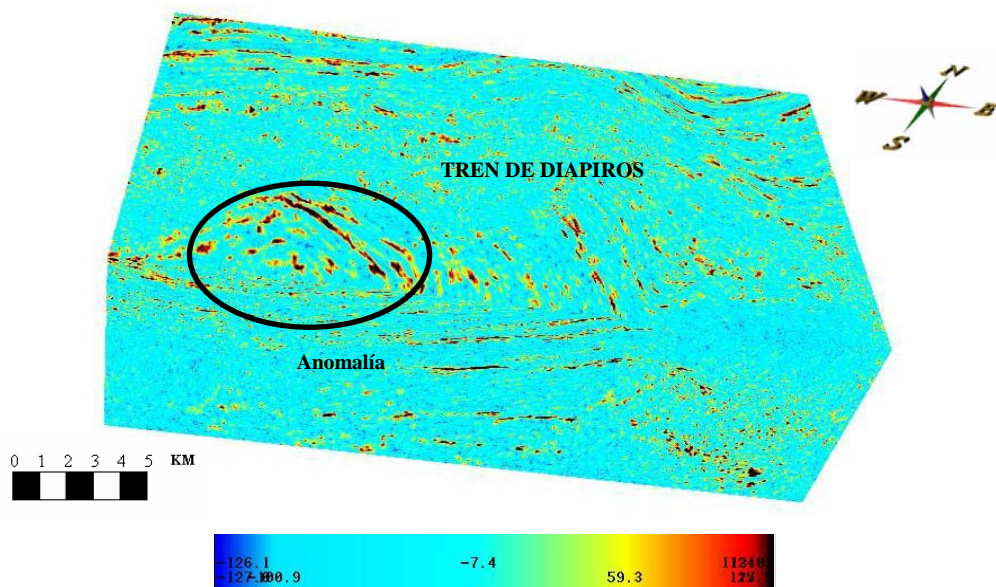


Figura 5.6 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa, resaltando el Miembro Cotorra (1400 ms)
(Flanco Sur)

En el caso de la respuesta que arrojó el atributo de frecuencia sobre la anomalía antes mencionada (figura 5.9), reduce las posibilidades de grandes contrastes, debido a que en la zona que demarcamos como anómala, su mayoría esta representada por valores altos de frecuencia que no son indicativos de zonas porosas, existiendo valores de frecuencias bajas pobremente distribuidas.

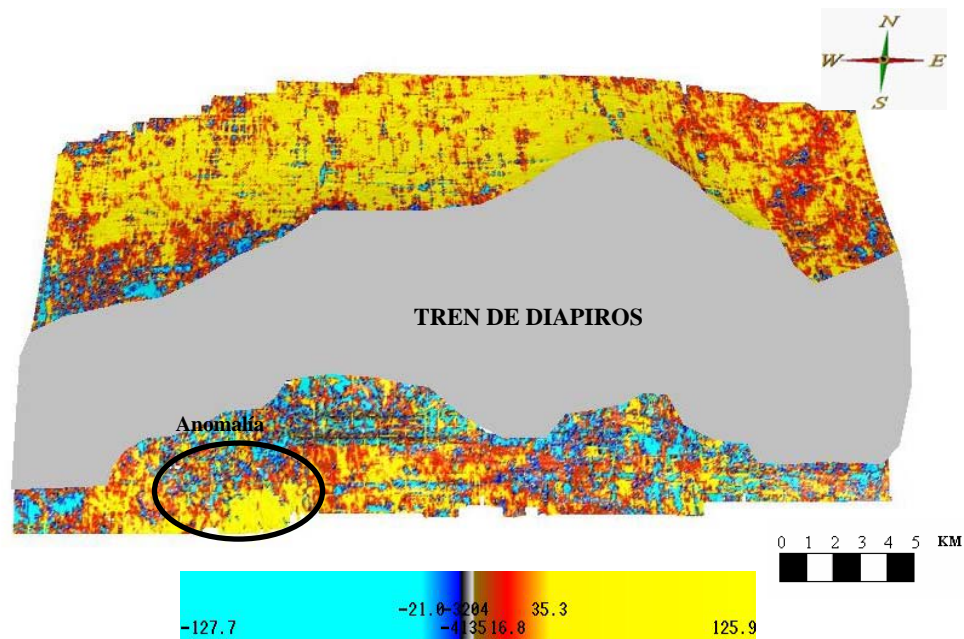


Figura 5.9 Atributo Frecuencia sobre la superficie del Miembro Cotorra

Otra zona de interés es el Miembro Amacuro, debido a los cambios anómalos de las respuestas de los atributos generados tanto en el volumen como en la superficie, este caso es aun más particular, debido a que refleja anomalías de mayor espesor y distribución lateral, observadas en el flanco norte y en el flanco sur de la estructura del área de Guanipa. La anomalía 1 que se observa en el flanco norte cubre la mayor dimensión, esta se encuentra alrededor de (1900-2200) ms, con dirección nor-oeste (figura 5.10) y la anomalía 2 de menor dimensión en dirección nor-este. La anomalía 3 en el flanco sur (figura 5.11), es menor en dimensión y en espesor que la del flanco norte, ubicada esta en la zona central del flanco sur, con una dirección casi este-oeste, tendiendo aun más hacia el flanco oeste del diapiro 2 que se señala en la sísmica.

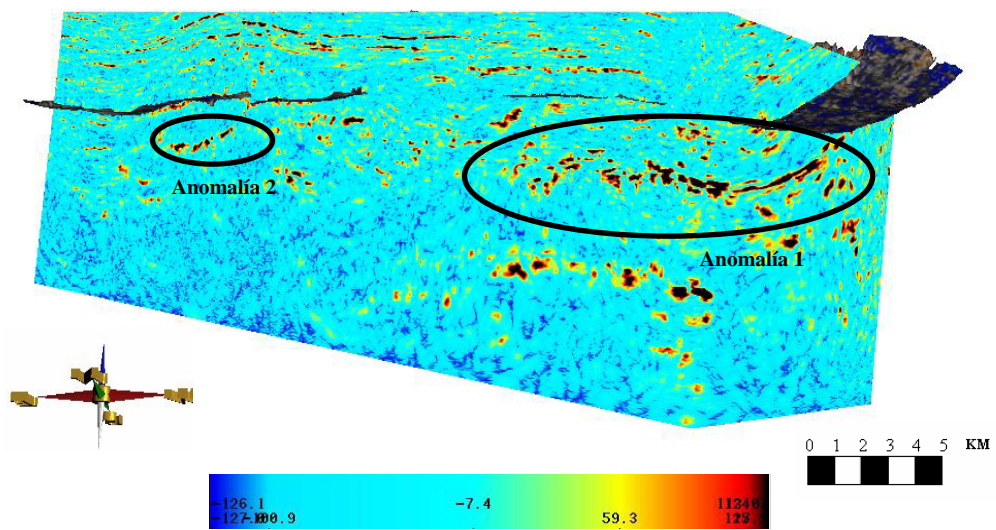


Figura 5.10 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa, resaltando el Miembro Amacuro (1936 ms) (flanco norte)

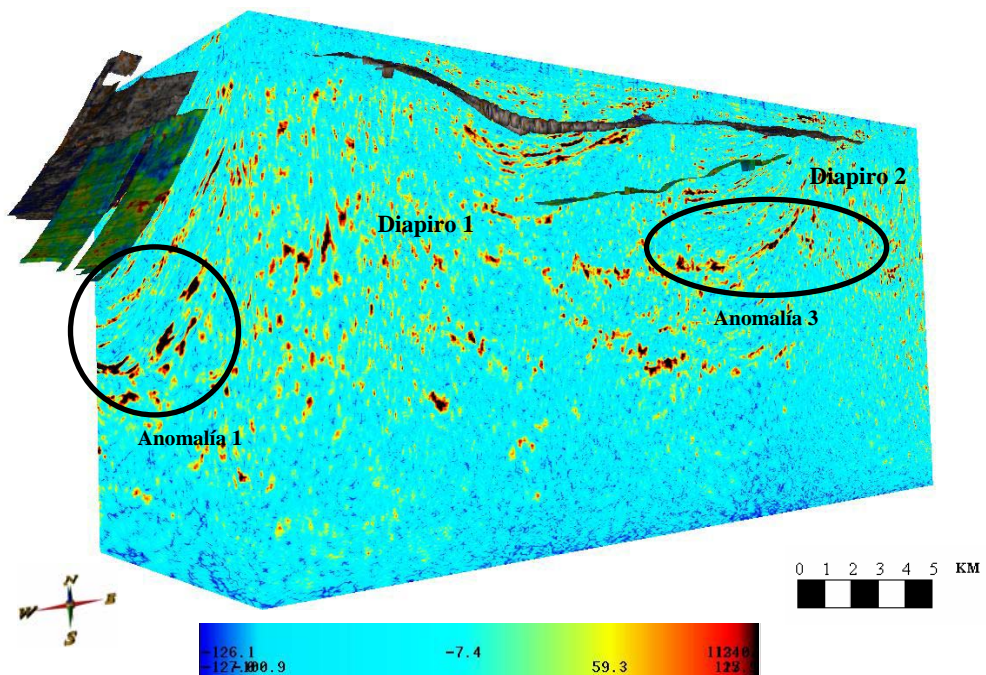


Figura 5.11 Atributo múltiple sobre el volumen de Guanipa, resaltando el Miembro Amacuro (flanco sur)

Así mismo se generó el atributo RMS sobre la superficie del Miembro Amacuro, resaltando las mismas anomalías observadas en el atributo múltiple del volumen, con valores altos de amplitud, con una mejor representación hacia el flanco norte de la estructura, donde adicionalmente el flanco está cortado por

varias fallas normales que actuarían como excelentes sellos estructurales, que hacia el flanco sur (figura 5.12).

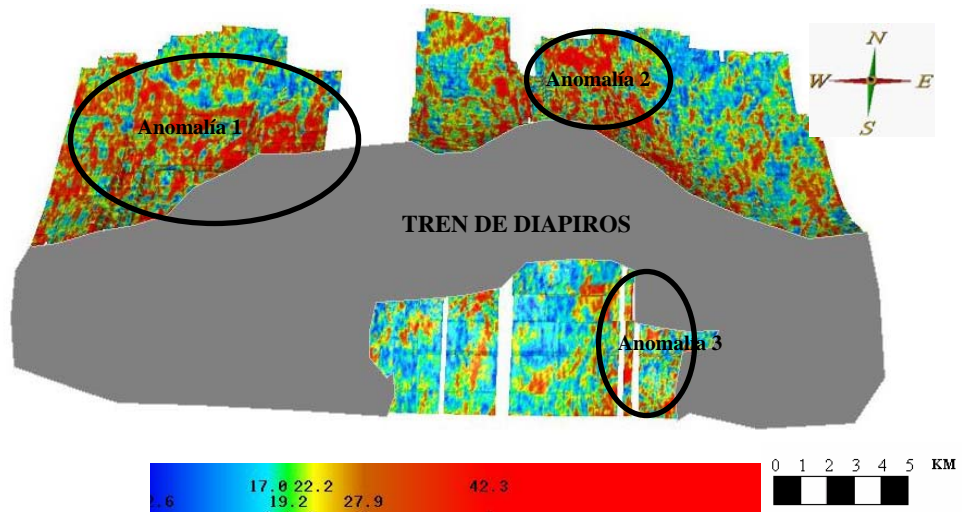


Figura 5.12 Atributo RMS sobre la superficie del Miembro Amacuro

El mismo caso ocurre en el atributo de frecuencia sobre la superficie del Miembro Amacuro (figura 5.13), los valores de menor frecuencia presentan su mayor distribución, hacia el flanco norte de la estructura, mientras que hacia el flanco sur, los valores de frecuencia son extremadamente altos, en comparación con los valores bajos de frecuencia generados sobre la superficie.

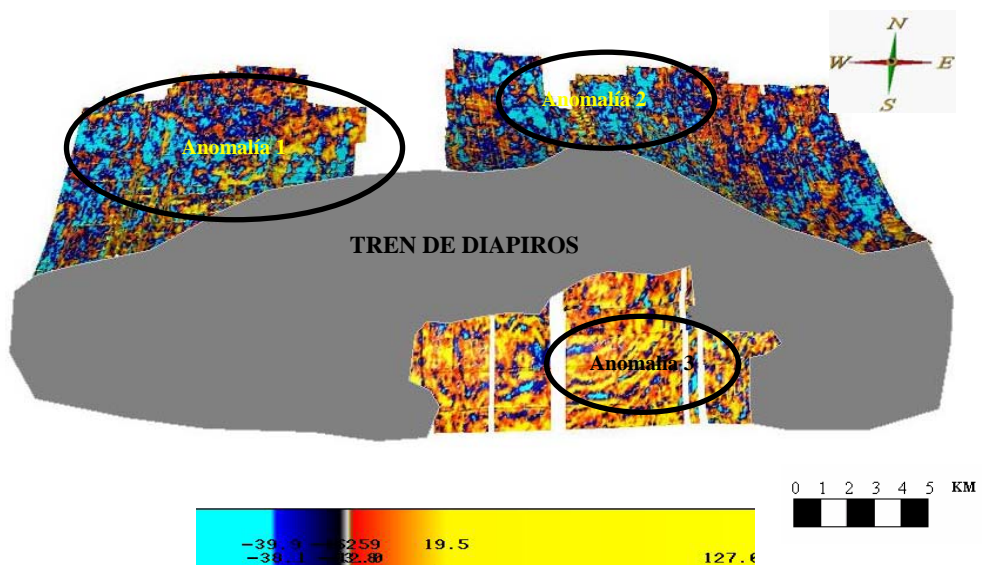


Figura 5.13 Atributo Frecuencia sobre la superficie del Miembro Amacuro

5.5 ATRIBUTOS SÍSMICO EN EL VOLUMEN DE ABATUCO Y LAS SUPERFICIES

La generación de atributos sísmicos sobre el volumen de Abatuco así como en cada superficie de las formaciones Las Piedras, La Pica y Carapita, permitió resaltar zonas de interés en base a la propiedad de las anomalías que reflejan cambios de facies, altos valores de amplitud y bajos valores de frecuencia. En el caso del área de Abatuco somera, el atributo múltiple permitió resaltar canales meandriformes a nivel de Las Piedras con zonas anómalas, bien definidas dentro del intervalo (1400-1500) ms, con dirección SSO-NNE, selladas por la presencia de fallas normales (figura 5.14 y 5.15)

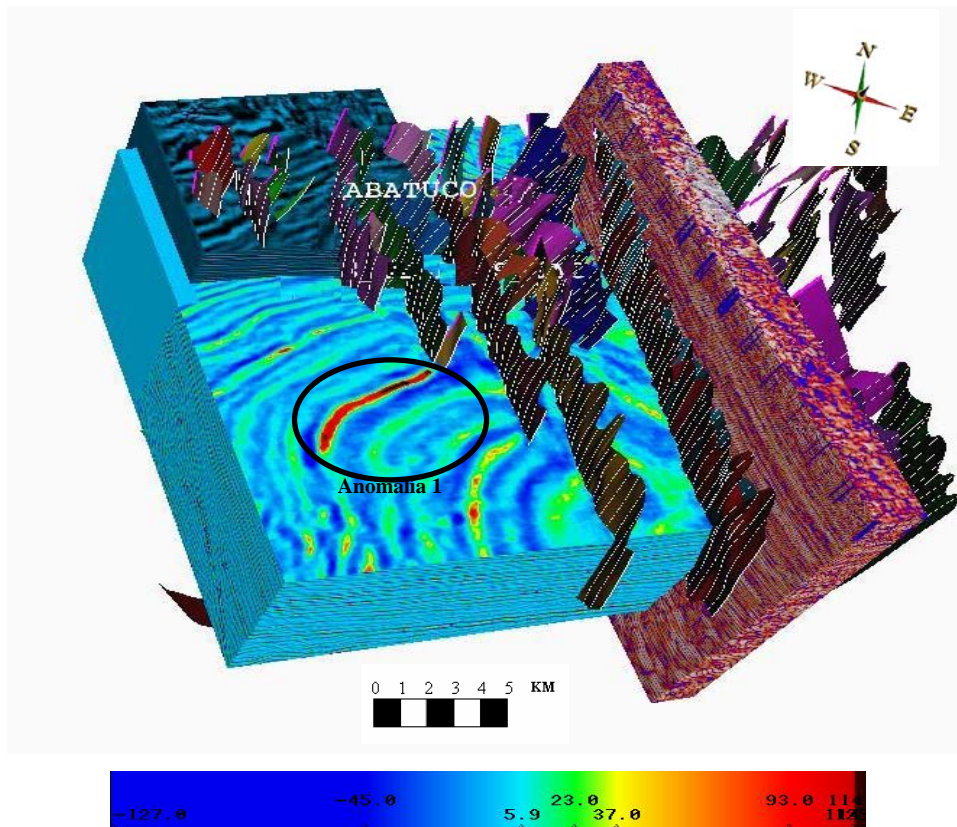


Figura 5.14 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando la Formación Las Piedras (1412 ms)

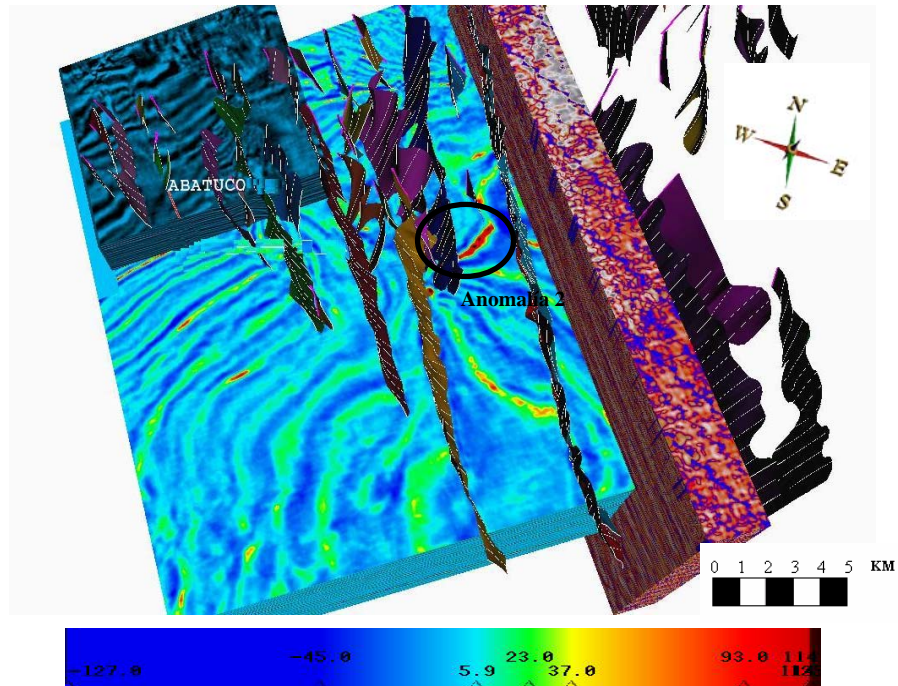


Figura 5.15 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando la Formación Las Piedras (1496 ms)

Sobre la superficie de la Formación Las Piedras, a partir de los atributos de frecuencia y RMS, permitió corroborar que estas anomalías presentan valores de altas amplitudes (figura 5.16) y baja frecuencia (figura 5.17) indicando que existe la posibilidad de entrapamiento de hidrocarburo.

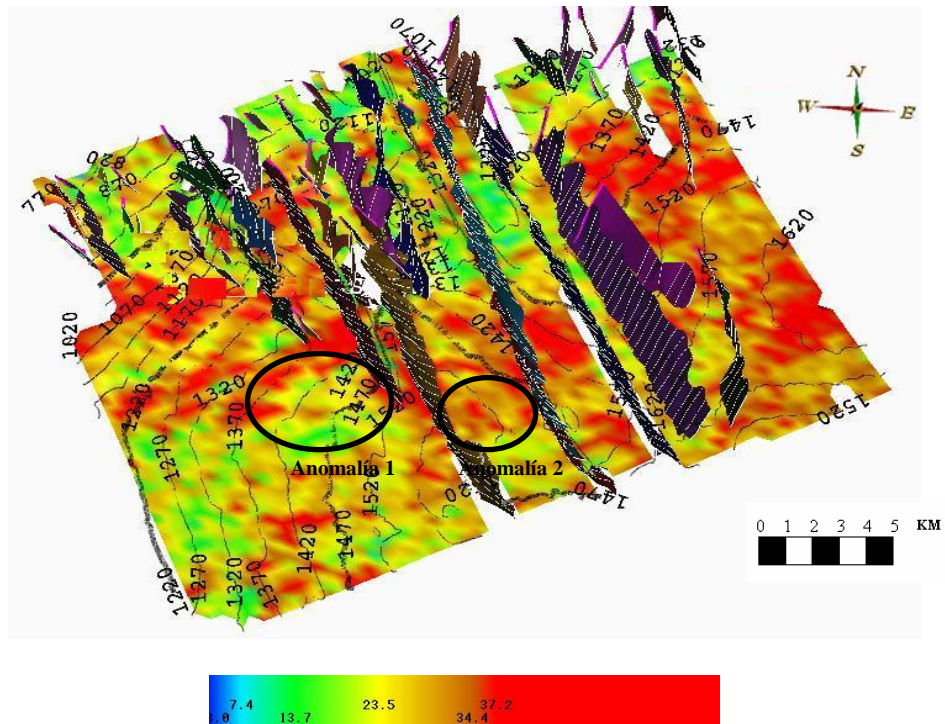


Figura 5.16 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Las Piedras

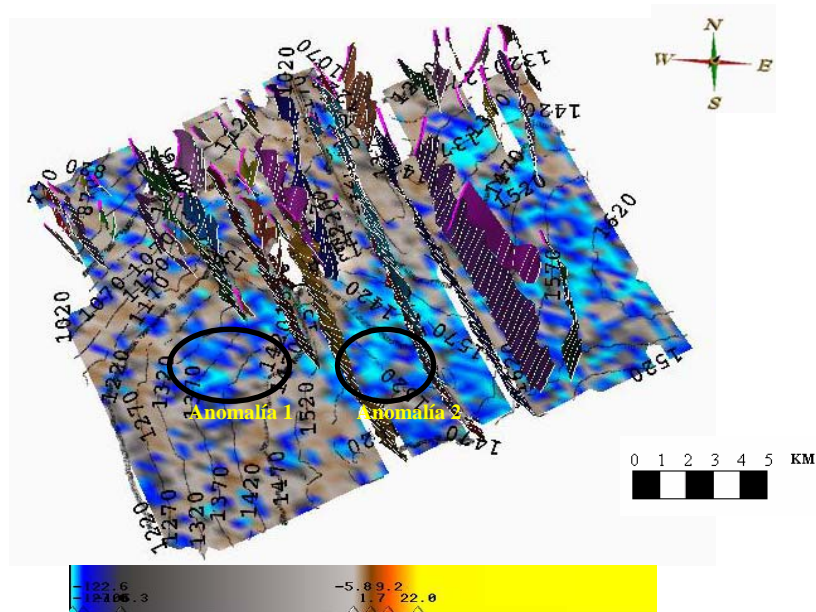


Figura 5.17 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Las Piedras

Otra zona que presentó variación de facies a nivel de interés, fue la Formación Carapita. En el atributo múltiple se observa el mismo canal meandriforme con mayor cantidad de vertientes y de un mayor espesor lateral a nivel de Las Piedras. Estas anomalías están definidas entre (1600-2000) ms con dirección SSE-NNO (figura 5.18 y 5.19), siendo este intervalo de mayor espesor que el de la Formación Las Piedras, y con una mayor cantidad de anomalías distribuidas lateralmente.

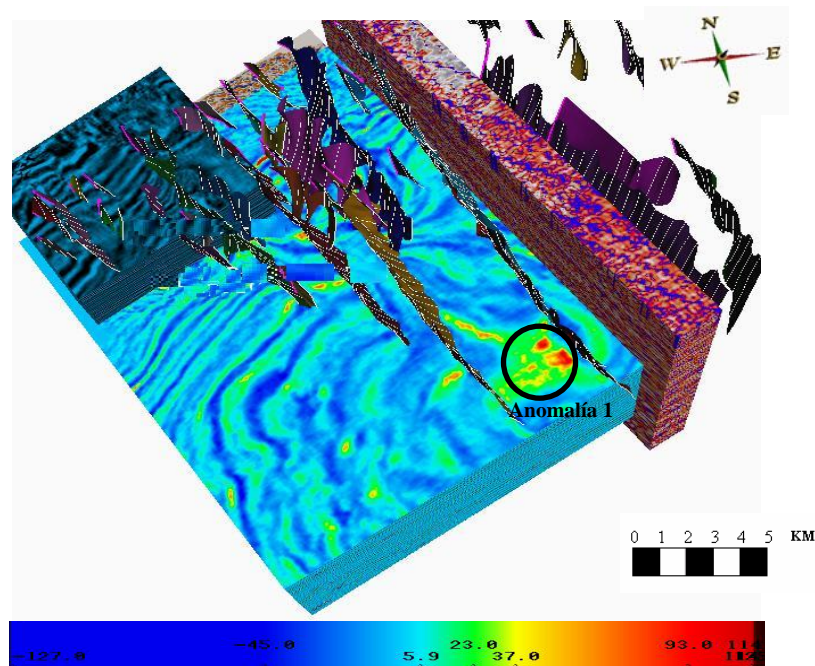


Figura 5.18 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando la Formación Carapita (1692 ms)

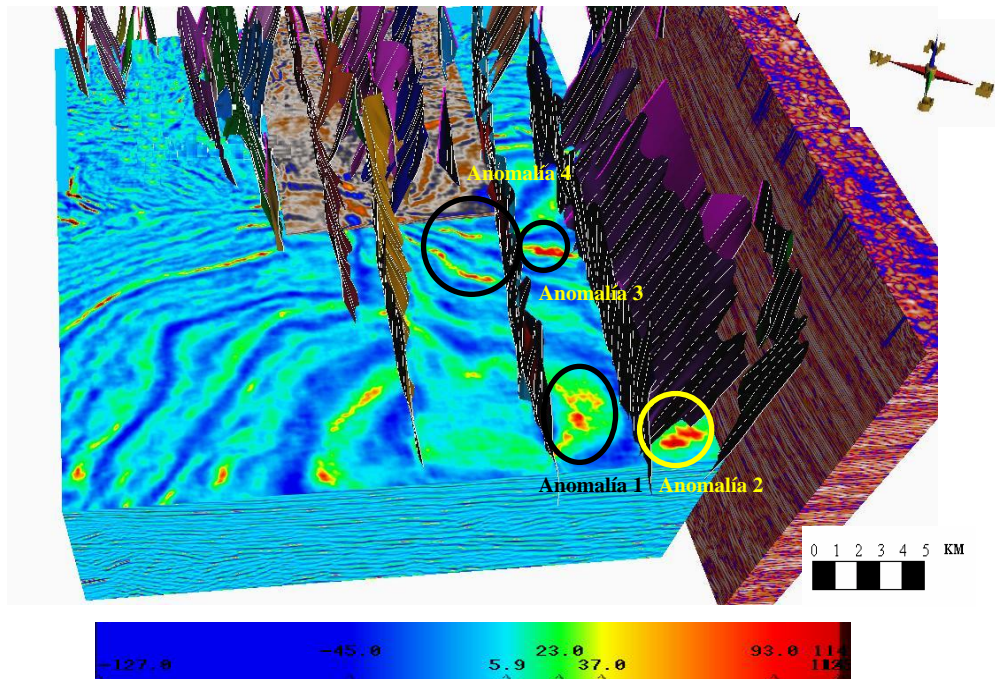


Figura 5.19 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando la Formación Carapita (1972 ms)

De la misma forma se generó el atributo de frecuencia y RMS sobre la superficie de Carapita, corroborando que esta zona muestra altos valores de amplitud (figura 5.20) y bajas frecuencias (figura 5.21), como para considerarlas anomalías de interés.

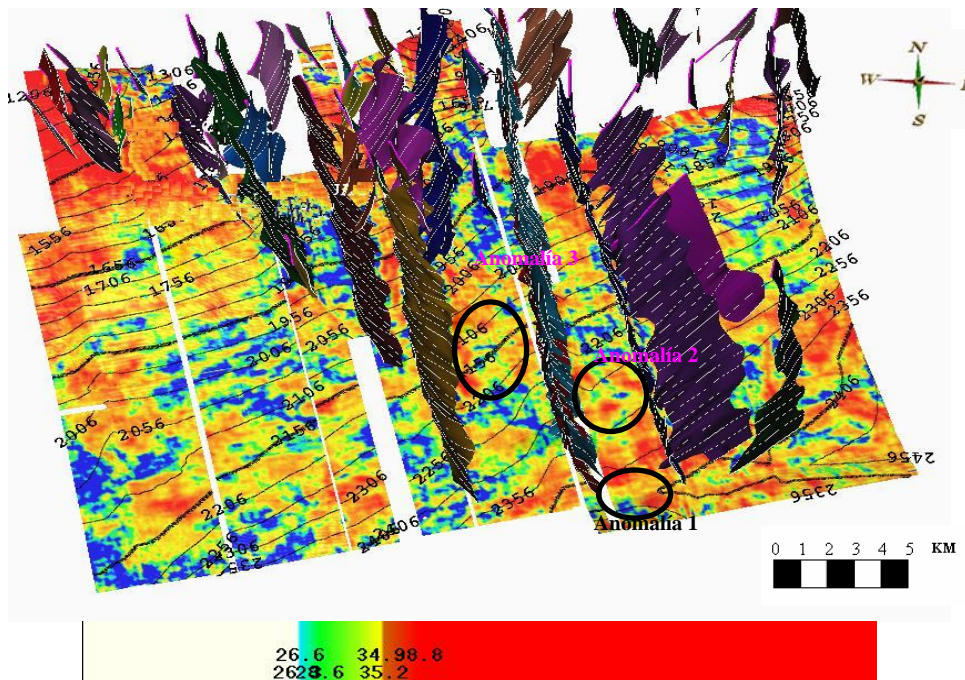


Figura 5.20 Atributo RMS sobre la superficie de la Formación Carapita

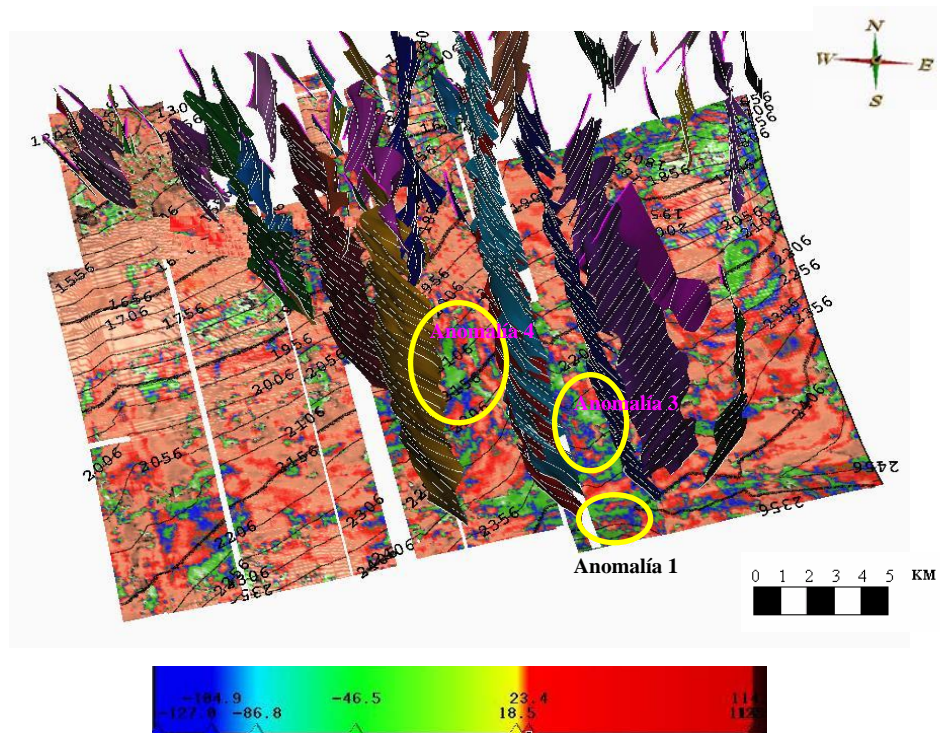


Figura 5.21 Atributo de frecuencia sobre la superficie de la Formación Carapita

Para el área de abatuco profundo, se calculó el atributo RMS para cada superficie de los horizontes interpretados como horizonte alóctono (2500-4500) ms y horizonte autóctono (3300-3700) ms, mostrando anomalías de altas impedancias que se encuentran selladas por los corrimientos y por fallas de menor dimensión (figura 5.22), ambas superficies arrojan una respuesta de ± 40 ms por arriba y por debajo de la superficie original.

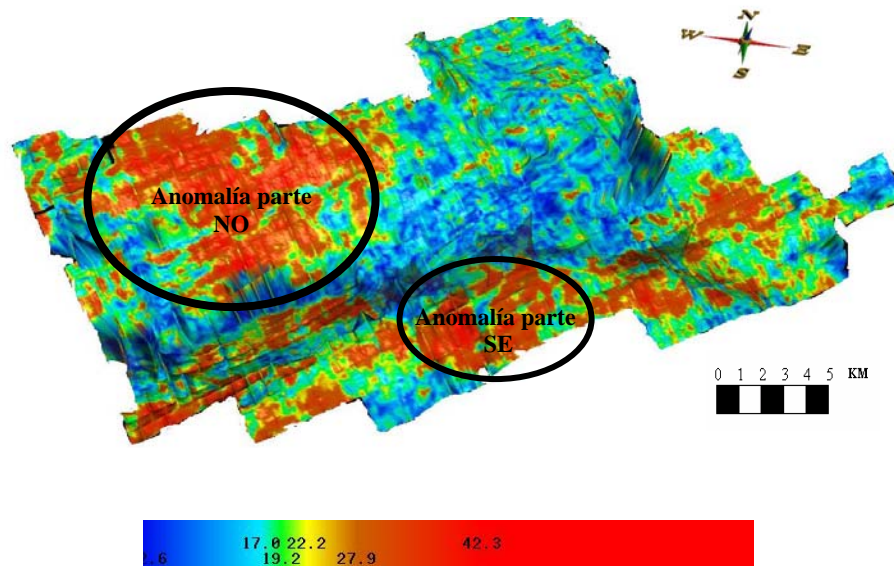


Figura 5.22 Atributo RMS sobre el horizonte abatuco profundo

Sobre el volumen de Abatuco profundo, a nivel del horizonte profundo alóctono, se calculó el atributo múltiple (amplitud entre la raíz cuadrada de la frecuencia) que permite diferenciar litología, y permitió destacar rasgos interesantes de gran magnitud tanto lateral como vertical a una profundidad de (4128 ms), mostrando que el aporte de material tiene una dirección NO-SE (figura 5.23), y que este pudo haber sido transportado por cañones submarinos bajo un ambiente marino profundo, y luego dicho material fue afectado por los corrimientos.

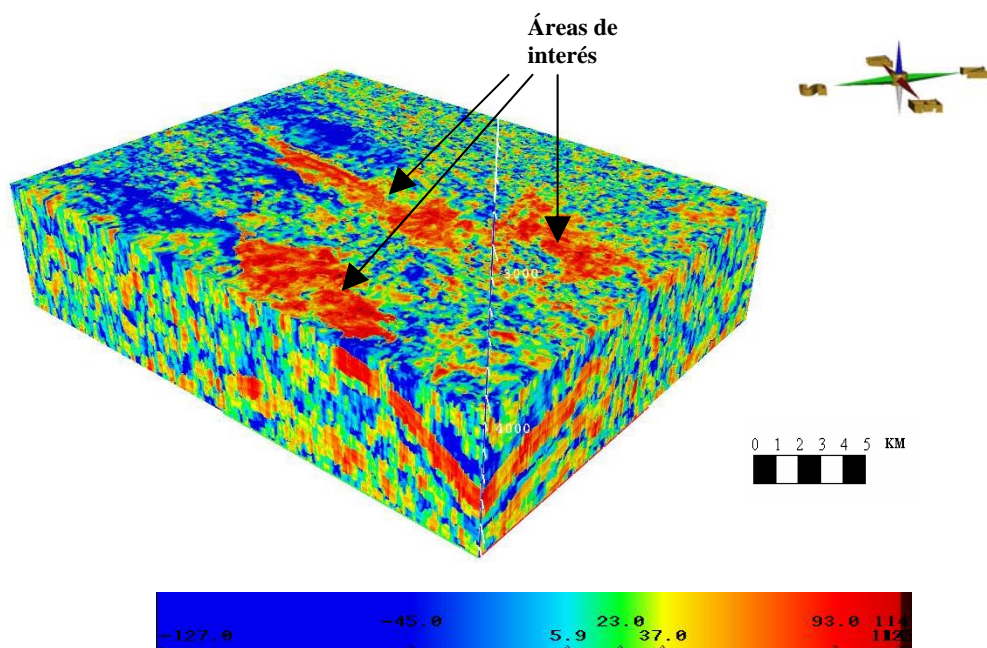


Figura 5.23 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (4128 ms)

A medida que profundizamos (4200-4500) ms, este aporte de material de grano grueso se distribuye a los lados de la cuña que progresa hacia el SE, en forma de anomalías más puntuales (figura 5.24) bordeadas por material de grano más fino, que podría servir como excelentes sellos estratigráficos.

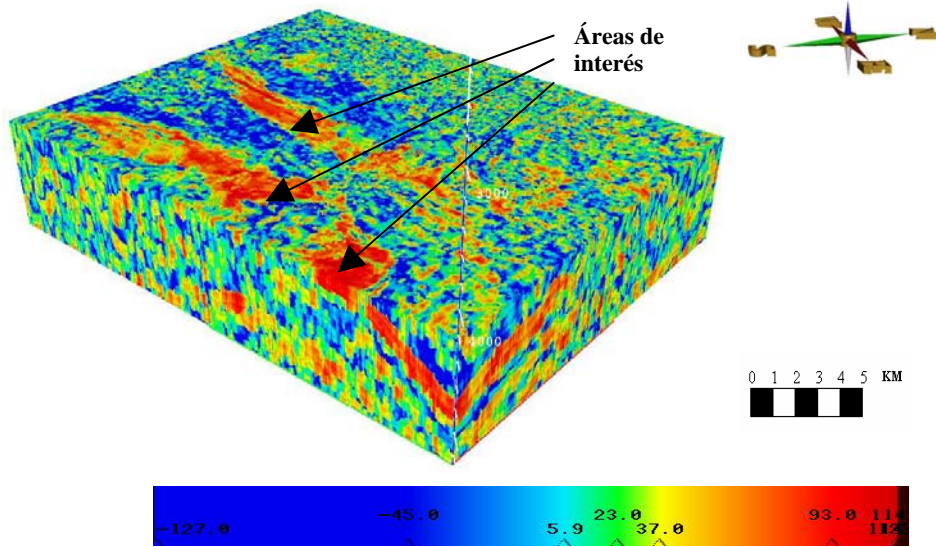


Figura 5.24 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (4244 - 4488 ms)

Mientras que para la profundidad de 4700 ms en dirección SE, converge en un punto medio, uniéndose en una larga franja, igualmente bordeada por material de grano más fino mientras que en dirección NO conserva su acumulación hacia los lados (figura 5.25).

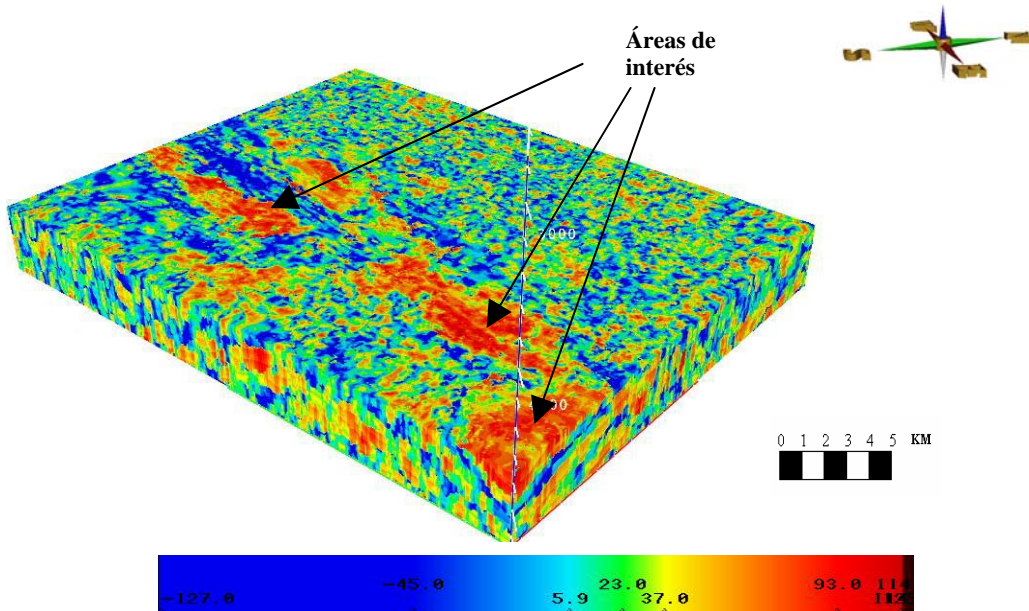


Figura 5.25 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (4732 ms)

Para finalizar a una profundidad de 4950 ms (figura 5.26), como una anomalía ubicada sólo en la parte NO en forma de una franja menor, que lleva la misma dirección de depositación de NO-SE

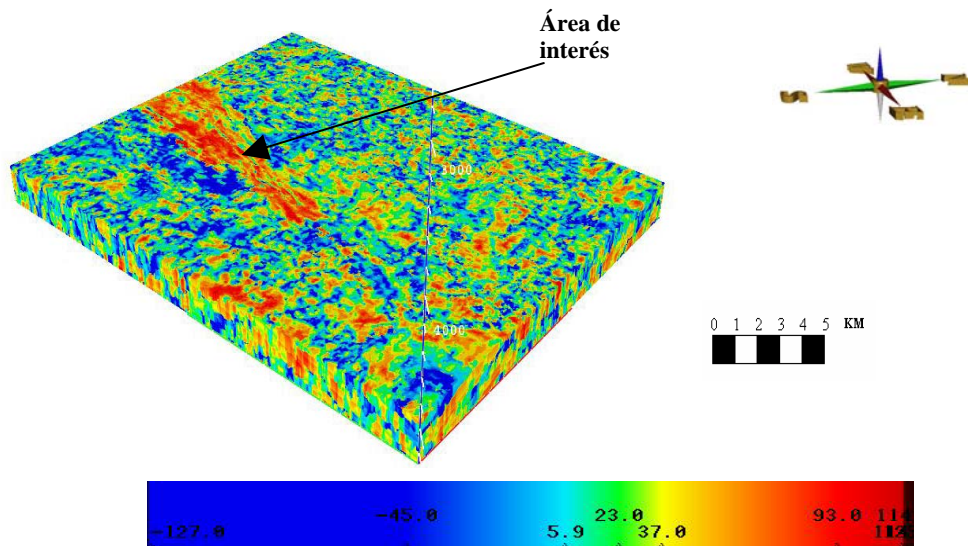


Figura 5.26 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (4932 ms)

El atributo RMS calculado para la superficie del horizonte profundo autóctono (figura 5.27) no muestra varias anomalías de alta amplitud como lo fue para la superficie del horizonte profundo alóctono quien posiblemente tendrá mayor espesor de arenas, sin embargo, resulta de interés el atributo múltiple que se calculó al volumen de Abatuco para la profundidad a la que ese encuentra esta superficie profundo autóctono.

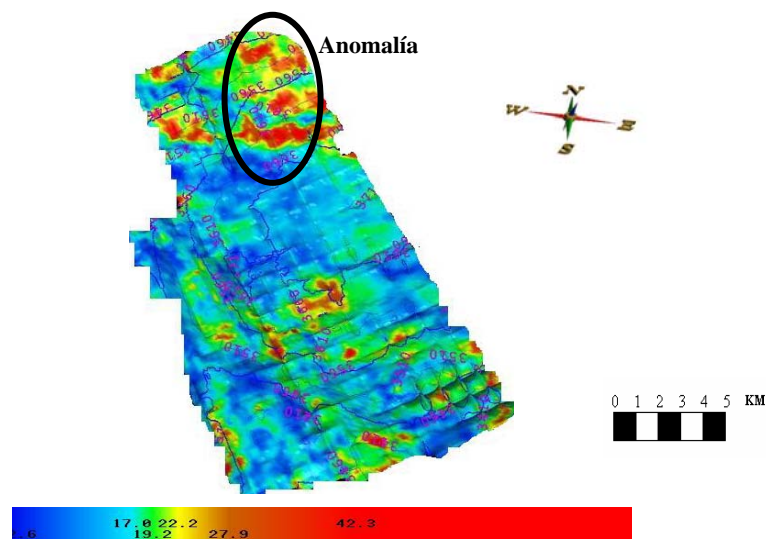


Figura 5.27 Atributo RMS sobre el horizonte abatuco profundo

El atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, se calculó para la misma profundidad a la que se encuentra la superficie alrededor de los 3624 ms, en este caso, presentó una anomalía de menor dimensión lateral y vertical, con una distribución más puntual en dirección NE (figura 5.28), contraria a la que presenta el horizonte profundo autóctono.

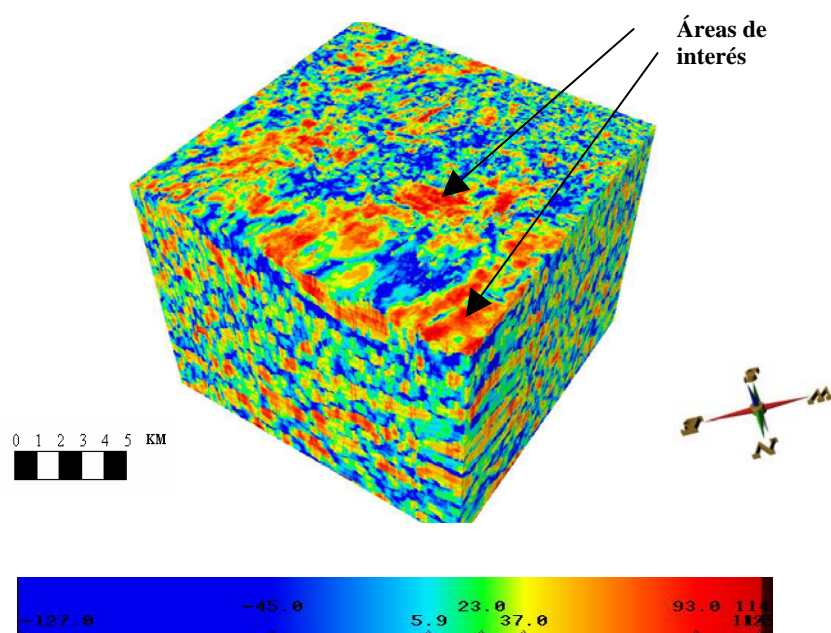


Figura 5.28 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (3624 ms)

A medida que profundizamos (3760 ms), de algo más disperso como se mostró en la figura 5.26, se unifican estos altos valores, generando una mancha de mayor distribución lateral (figura 5.29), que continuará uniéndose a medida que profundizamos, para luego desaparecer por debajo de los 3900 ms. Esto nos permite entonces apreciar, que no presenta la misma magnitud de interés que se observó para el horizonte profundo autóctono, sin embargo, no deja de ser menos importante o de interés, para futuros estudios.

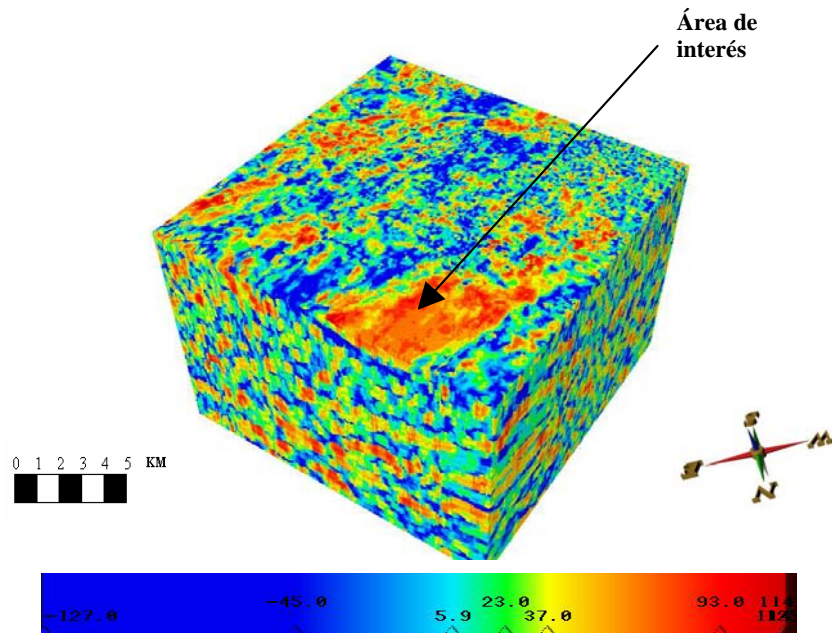


Figura 5.29 Atributo múltiple sobre el volumen de Abatuco, resaltando horizonte profundo (3760 – 3852) ms

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS MAPAS ESTRUCTURALES, MAPAS DE ATRIBUTO SÍSMICO E INFORMACIÓN DE POZOS

Con el uso de la herramienta GeoProbe™ de Landmark, se integró los mapas estructurales de los horizontes interpretados en conjunto con la información de pozo y los mapas de atributos sísmicos generados tanto en los dos volúmenes como en cada superficie; visualizando simultáneamente cada una de estas respuestas, se identificaron estructuras geológicas así como posibles áreas prospectivas, con una mayor precisión y en un tiempo menor de trabajo.

En la figura 6.1 se muestra la integración del volumen sísmico del área de Guanipa con los 3 volúmenes de atributo sísmico [cubo de coherencia, atributo múltiple (amplitud / $\sqrt{\text{frecuencia}}$) y atributo amplitud], así como las superficies de los horizontes generados en SeisWork™ de Landmark con sus contornos en unidades de tiempo doble (ms), que se truncan contra el tren de diapiros, observando un mayor ángulo de inclinación en las superficies ubicadas en el flanco norte de la estructura que en el flanco sur.

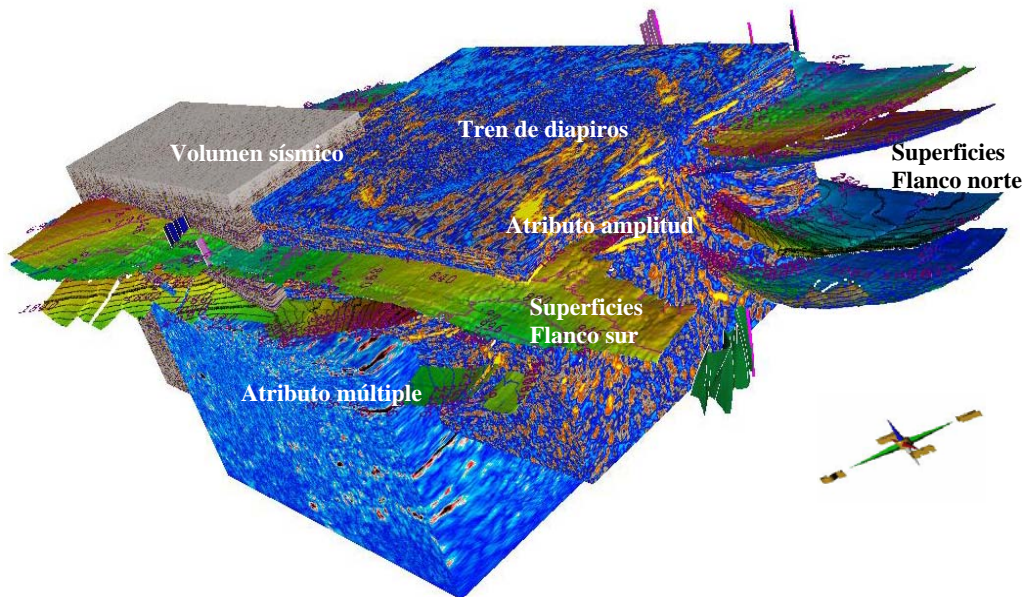


Figura 6.1 Integración de los volúmenes de atributo sísmico y las superficies en el área de Guanipa

La figura 6.2 muestra la complejidad de fallas ubicadas en el flanco norte del área de Guanipa.

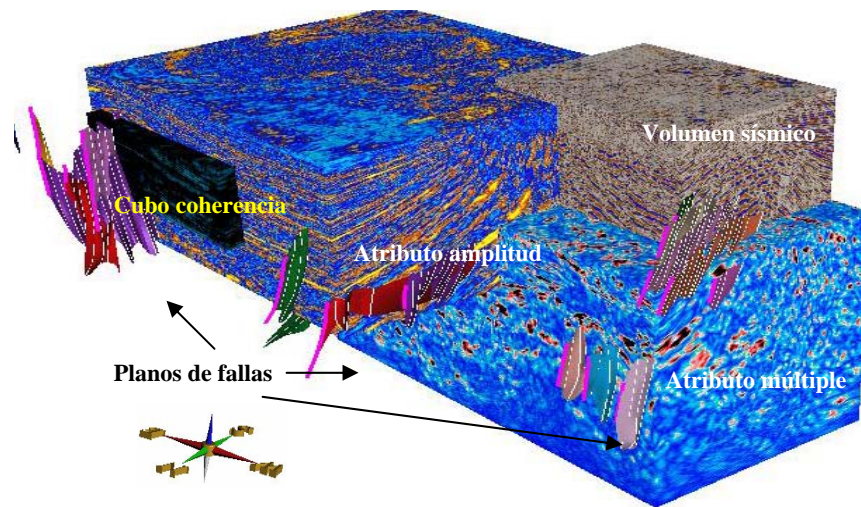


Figura 6.2 Integración de los volúmenes de atributo sísmicos y fallas en el área de Guanipa

En el área de Guanipa fue de gran importancia la integración de estos resultados ya que nos permitió visualizar anomalías de interés atrapadas en su mayoría por sellos estratigráficos hacia el flanco sur y por sellos estructurales hacia el flanco norte. De la misma manera la alta resolución de visualización nos permitió entender e identificar las secuencias de los eventos, así como la distribución e inclinación de las superficies y planos de fallas.

La figura 6.3 es la integración de los volúmenes de atributo sísmicos [cubo de coherencia, fase y múltiple (amplitud / $\sqrt{\text{frecuencia}}$)] en conjunto con las superficies y planos de falla del área de Abatuco somero. En ella se observa que en dirección noroeste, el espesor de las superficies de las formaciones más jóvenes, disminuye, debido al levantamiento proveniente de los corrimientos de la Serranía del Interior, estas superficies cortadas por un sistema de fallas normales en dirección casi perpendicular a los corrimientos.

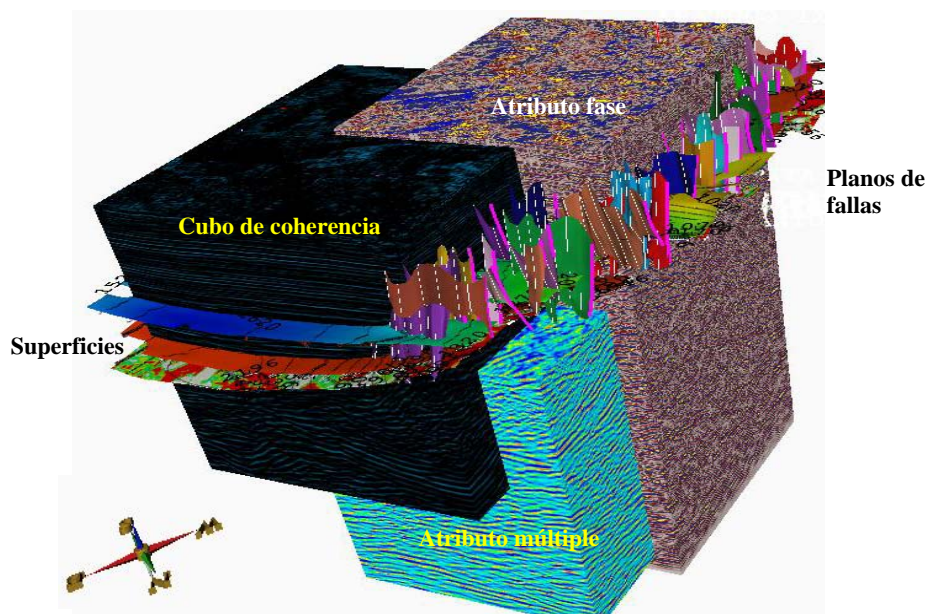


Figura 6.3 Integración de los volúmenes de atributo sísmico, superficies y planos de fallas en el área de Abatuco (vista noroeste)

En la figura 6.4 se muestra el área de Abatuco somero en dirección sureste, donde las superficies presentan un espesor mayor, debido a que en este sentido buza la Cuenca Oriental, alcanzado su mayor profundidad, así como también se observa que hay menos planos de fallas que cortan las superficies en comparación con el sistema de fallas que cortan la superficies en dirección noroeste de Abatuco (figura 6.3).

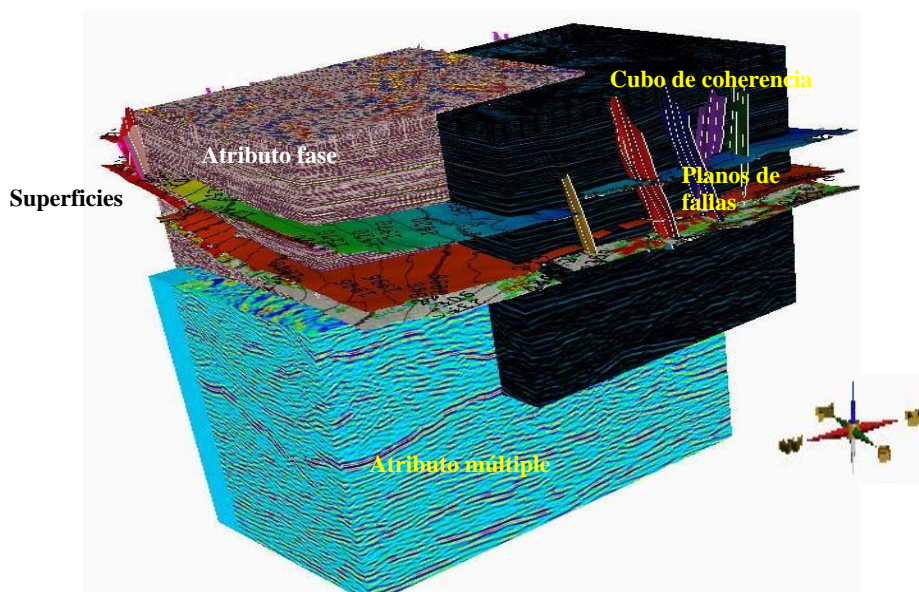


Figura 6.4 Integración de los volúmenes de atributo sísmico, superficies y planos de fallas en el área de Abatuco (vista sureste)

En la zona que se conoce como abatuco profundo (figura 6.5), se encuentra separada de lo que designamos como abatuco somero, por la discordancia regional del Mioceno Superior, que buza en dirección SE y cubre una profundidad de tope 1500ms hasta 3200ms, separando dos eventos estructuralmente diferentes. En abatuco profundo tenemos la serie de corrimientos que buzan también en dirección SE, definiendo el Corrimiento de Pirital que separa la escama intermedia que corresponde a los corrimientos ubicados hacia el NO y presentan en su secuencia sedimentaria basamento cretácico, mientras que los corrimientos más hacia el SE son aún más profundos y corresponden a la escama inferior, en estos corrimientos no se logra observar la presencia de basamento Cretácico, sin embargo, dentro de esta escama, se localiza, el horizonte que se interpretó para definir la estructura de lo que conocemos como abatuco profundo. Mientras que en dirección NE, se interpretó otro horizonte que se le asignó como material sedimentario autóctono de la zona, que no fue desplazado por algún corrimiento.

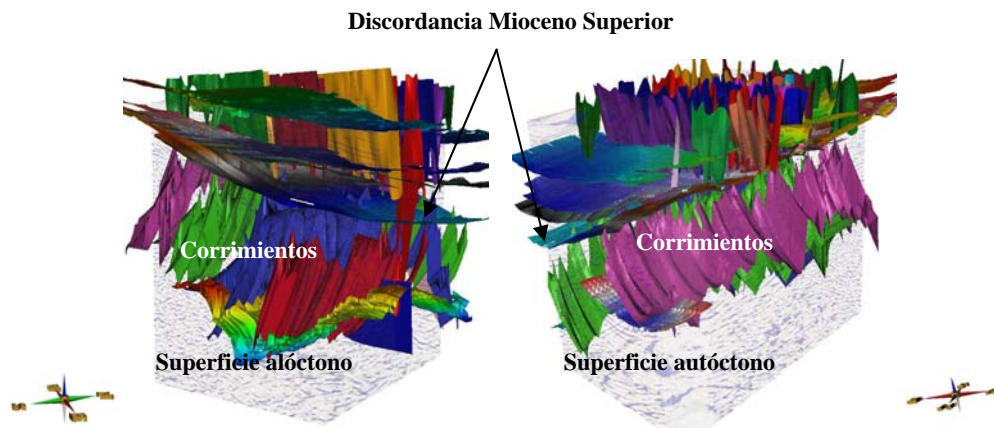


Figura 6.5. La figura de la izquierda se observa la dirección en que buzan los corrimientos SE, y la superficie profunda alóctona. La figura de la derecha muestra otro ángulo del volumen de Abatuco, para mostrar la superficie profunda autóctona ubicado más hacia el NE

La integración de todas las posibles respuestas generadas en el área de Abatuco con la herramienta de visualización, permitió reconocer ambientes turbidíticos a lo largo de cañones submarinos de edad Eoceno-Oligoceno, canales meandriformes de edad Mioceno-Pleistoceno, así como la presencia de sistemas

de fallas y corrimientos que actúan como principales sellos estructurales, para el entrapamiento de hidrocarburo.

6.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES PROSPECTOS DE INTERÉS

La identificación de las posibles zonas de interés se hace en base a la integración de los mapas estructurales, mapas de atributos sísmicos y ambiente geológico regional, en el área de Guarapiche. Se observan anomalías que podrían indicar presencia de fluido (gas, petróleo, agua), así como fuertes cambios litológicos; esto debido a la falta de información de pozos perforados en el área y análisis petrofísico; limitando la posibilidad de correlacionar los fluidos presentes en el área.

En el área de Guanipa se indicó anomalías de altas amplitudes y bajas frecuencias a nivel de la Formación Las Piedras y Miembro Cotorra (Plio-Pleistoceno), acuñadas contra el flanco sur del tren de diapiros. Sin embargo, se considera que las mejores condiciones geológicas se presentan a nivel del Miembro Amacuro (Plioceno), donde se observan hacia el flanco norte de la estructura de Guanipa, anomalías de grandes espesores laterales y verticales que se acuñan contra el tren de diapiros, presentando adicionalmente una serie de fallas de menor dimensión y dos fallas regionales con direcciones NNO y NNE, que actuarían como excelentes sellos estructurales. Si adicionalmente, recurrimos a la relación arena-lutita, curva que determina el límite entre la presencia (si es que la hay) de gas-agua o gas-petróleo, tenemos que para profundidades menores a los 6800 pies, cualquier alto contraste de impedancia podría estar asociado a un punto brillante (brightspot) o presencia de gas. Valor que está a una mayor profundidad, a la que se encuentra la formación Las Piedras y el Miembro Amacuro.

El área de Abatuco presenta condiciones geológicas aun más óptimas que en el área de Guanipa, se observa en dirección sureste, canales meandriformes a nivel de la Formación Las Piedras (Plio-Pleistoceno) y Carapita (Mioceno), donde se visualiza anomalías con alta amplitud y baja frecuencia, asociados a una serie de fallas normales que actuarían como excelentes sellos estructurales. Sin embargo, por arriba de los corrimientos y por debajo de la discordancia regional del Mioceno Superior, entre el intervalo (3000 – 3500) ms, se observa la presencia

de cañones submarinos con altos contraste litológicos que proporcionan la presencia de cuerpos turbidíticos de gran extensión, ubicados por arriba de la profundidad de la curva de intersección de arena-lutita, donde cualquier alto contraste de impedancia mayor a los 13650 pies, podría corresponder a la presencia de puntos brillantes (brightspot), o acumulación de hidrocarburo. Este mismo marco geológico debió de presentar las estructuras más profundas en el área de Abatuco (horizonte profundo autóctono), antes del desplazamiento de los corrimientos, ya que se ubicaba en una ambiente marino profundo (figura 6.6), sin embargo, una vez activados el desplazamiento de las escamas; si se formaron cuerpos turbidíticos, debieron de ser removidos o destruidos, debido al desplazamiento de los corrimientos. Aún así en base a los altos contrastes en relación arcillas- arenas obtenidos por el atributo múltiple que se realizó sobre el volumen de Abatuco, que presenta esta área; quedará como estudios posteriores determinar con mayor exactitud, si presenta algún interés económico.

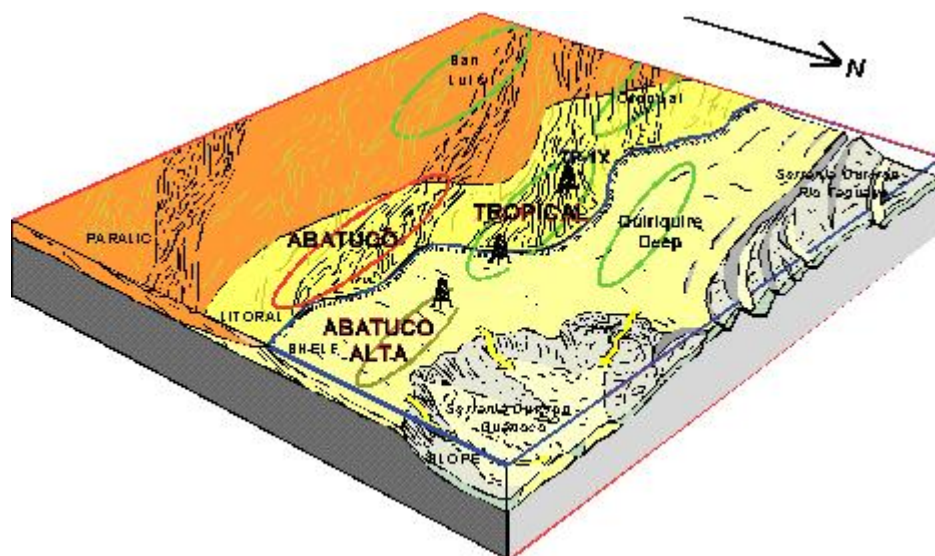


Figura 6.6 Ambiente deposicional a nivel de San Juan, propuesto por BP 97 y que se asemeja al marco deposicional del horizonte profundo autóctono.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La propuesta de las zonas de interés a lo largo del área de Guarapiche corresponde a la interpretación sísmica estructural bajo las condiciones de los datos procesados y migrados, así como, del análisis de atributos sísmicos, en función a la estimación de altas amplitudes y bajas frecuencias que posiblemente determinarán condiciones geológicas estructurales y estratigráficas de interés prospectivo. La falta de información de pozos en el área y por consiguiente su análisis petrofísico, limitó la posibilidad de obtener mapas de propiedades petrofísicas y correlacionar fluidos a través de atributos sísmicos.

- En el área de Guanipa se propone a nivel de la Formación Las Piedras y Miembro Cotorra (Plio-Pleistoceno), anomalías acuñadas hacia el flanco sur del tren de diapiros. Sin embargo, las mejores condiciones geológicas se presentan a nivel del Miembro Amacuro (Plioceno), donde las anomalías se ubican en el flanco norte de la estructura, bordeada de una serie de fallas menores y dos fallas normales principales con dirección NNO y NNE, así como, acuñamiento contra los flancos del tren de diapiros, las cuales actuarían como excelentes sellos estructurales y estratigráficos, y si a la vez tomamos el cálculo relación arena-lutita del pozo A-1X, que limita la presencia de gas, y este punto se ubica a una profundidad de 6800 pies; todo alto contraste de impedancia por encima de esta profundidad, podría corresponder a la presencia de un punto brillante.
- En el área de Abatuco somero, se propone a nivel de la Formación Las Piedras (Plio-Pleistoceno) y Carapita (Mioceno), a lo largo de los canales meandriformes en dirección sureste, anomalías bordeadas por un sistema de fallas normales con dirección NO-SE. Separada de lo que se conoce como abatuco profundo por la discordancia regional del Mioceno Superior que está a una profundidad de (1500-3200)ms, buzando en dirección SE, la misma dirección, en que la Cuenca Oriental alcanza su mayor profundidad. En abatuco profundo, a nivel de los corrimientos de la

Serranía del Interior (Terciario), específicamente a nivel de las superficies interpretadas como horizonte profundo alóctono (2500-4500)ms y horizonte profundo autóctono (3300-3700)ms, ubicados sobre lo que denotamos como escama inferior, se observan altos contrastes de impedancias con un alto contraste en relación arcillas-arenas, que asumimos como cuerpos turbidíticos, bordeados por los corrimientos, que actuarían como excelentes sellos estructurales; si adicionalmente agregamos que según el cálculo de relación arena-lutita del pozo A-2X, la intersección que limita la presencia de gas, tiene una profundidad de 13650 pies, toda alto contraste de impedancia, localizado por arriba de esta profundidad, podría significar presencia de gas.

- En base a las limitaciones que se consideran a lo largo del trabajo, se recomienda un reprocesamiento de la data sísmica original, aplicando herramientas más sofisticadas como migración en profundidad que permitirían definir a mayor detalle, áreas afectadas por estructuras diapíricas, así como, proponer estudios petrofísicos, análisis de reestructuración tectónica, análisis de estratigrafía por secuencia, análisis de AVO, que generarán modelos de mayor detalle y por consiguiente permitirán estimar con mayor precisión, áreas prospectivas dentro del área de Guarapiche.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo, (1999). *Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela*. Editado por el Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN) – PDVSA Intevep. www.pdvsa.com/lexico.

Araujo, Elisa (2002). *Interpretación sísmica estructural 3D y uso de atributo sísmico en el Mioceno-Eoceno del área VLA-62, Bloque 1 Lago de Maracaibo*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Aymard, R. (1990). *Geological Integration and Evolution of Northern Monagas, Eastern Venezuela Basin*. Classic Petroleum Provinces. J Brooks ed., Geol. Soc. Special Publ. 50, London, UK, pp. 37-53

Aslan A., Warne A.G, White W.A, Guevara E.H, Smyth R.C, Raney J.A and Gibeaut J.C (2001). *Mud volcanoes of the Orinoco Delta, Eastern Venezuela*. Geomorphology. Volumen 41, Issue 4, December 2001, pages 323-336.

Barreto, Jhanes (2004). *Reconocimiento de litofacies aplicando atributos sísmicos y métodos de clasificación guiada en las parcelas 362-7,362-8,362-9,362-10 del campo Jobo área de Temblador, Estado Monagas*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

BP (1997). Informes del área de Guarapiche de uso confidencial. PDVSA-CVP

Cobos G., Sophia (2002). *Interpretación Estructural en el Cinturón Plegado de Monagas, por medio de la Integración de datos Sísmicos, datos de Pozo y geología de Superficie*. Tesis Especial de Grado, USB, Facultad Geofísica.

- Di Croce, Juan (1995). *Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution*. PhD. Thesis, Rice University, Houston-Texas, USA.
- Duerto, L.; McClay (2002). *3D Geometry and Evolution of shale diapirs in the Eastern Venezuelan Basin*. University of London Royal Holloway & PDVSA, Geology Department, Fault Dynamics Research Group.
- Eva, A. (1989). *Four-Phase Tectonostratigraphic development of the Southern Caribbean*. *Marine and Petroleum Geology*, v.6, pp. 9-21
- Chaparro, José Antonio (2000). *Modelaje Geológico de la región central de la Subcuenca de Maturín*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- González de Juana, Clemente (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. FONINVES (eds.), Caracas, v. 2, p. 908- 959.
- Hernández, (2001). *Interpretación y Definición del marco sísmico estructural 3D, área VLA-206, Formación Guasare, Bloque 1*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Hung, Enrique (1992). *Generación de un mapa de velocidades promedio al tope del Oligoceno utilizando velocidades N.M.O.* Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Hung, E. (1997). *Foredeep and Thrust Interpretation of the Maturín Subbasin, Eastern Venezuela Basin*. Msc. Thesis, Rice University, Huston-Texas, USA, pp. 57-94.
- Manual de Aplicaciones de Seisworks (1998).

- Martínez, Marta; Zambrano, Gabriela (2004). *Caracterización del área de Carito a nivel terciario mediante la integración de atributos sísmicos y parámetros petrofísicos*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Méndez, José (2005). Manual de ambientes sedimentarios. Intevep
- Méndez, M. (1999). *Estructura de la faja de plegamiento y corrimiento del flanco sur de la Serranía del Interior*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Parnaud, F.(1995). *Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuela Basin*. AAPG Memoir 62, pp.741-756
- Paredes, A. (2002). *Estilos estructurales en un área ubicada al sur de Maturín, Estado Monagas*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Rosales, H. (1972). *La Falla de San Francisco en el oriente de Venezuela*. Mem. IV Congreso Geológico Venezolano, Bol. Geol. Vol. 4, pp. 2332-2336.
- Rossi, T. (1985). *La Serranía del Interior oriental sur le transect Cariaco-Maturín*. These de Doctorat de la Université de Bretagne occidentale, pp. 278-300.
- Subieta (1998). *Evolución Tectono- Estratigráfica de la Serranía del Interior y de la Subcuenca de Maturín*. Mem. III Simposio Bolivariano-Cuencas Subandinas, pp.549-577.

- Vivas, V. (1985). *Deflexión de Barcelona: rasgo Estructural Primario en Venezuela nororiental*. Mem. IV Congreso Geológico Venezolano, Tomo IV, pp. 2712-2744.
- Wagner A., Roberto (2004). *Estudio estructural regional y análisis de deformaciones recientes en el Frente de Montaña de la Serranía del Interior Oriental y en la parte norte de la Subcuenca de Maturín*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Zannin, G.; Mariño, N. (1983). *Estudio geológico y geoquímica preliminar de las fuentes termales, aguas sulfurosas y volcanismo sedimentario del estado Monagas y Territorio Federal Delta Amacuro*. . Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica
- Zapata, Iris (2001). *Interpretación sísmica 3D y uso de atributos sísmicos en el Cretácico, Bloque IX y XIV del Lago de Maracaibo*. Tesis Especial de Grado, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica

APENDICE

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA DEL ESTUDIO

Formación Barranquin (Cretácico Temprano)

La Formación Barranquín aflora extensamente en toda la Serranía del Interior Oriental, incluyendo la serranía de Guariquén y el cerro La Pica, en el noreste, y las islas del archipiélago Guaiquerí-Manare, por el noroeste Macsotay *et al.* (1986, en el Léxico Estratigráfico de Venezuela 1999), extendiéndose así por los estados Anzoátegui, Sucre y Monagas. No se conoce la base de su contacto inferior, mientras que el contacto superior fue situado por el inicio de la alternancia de calizas, areniscas y lutitas de la Formación El Cantil. Las areniscas arcósicas de la Formación Barranquín han sido consideradas como fluviales y las lutitas carbonáceas como depósitos de ambientes variables desde marino poco profundo hacia la cuenca, a paludales en complejo deltáico hacia la plataforma, y que a menudo se alternan verticalmente. Von Der Osten (1954, en el Léxico Estratigráfico de Venezuela 1999) opinó que la Formación Barranquín se depositó en aguas marinas poco profundas y en posición cercana a la playa, la cual a veces fluctuó entre aguas más profundas. Calcula en 1.500 m el espesor de la formación en su área tipo.

Formación El Cantil (Aptiense-Cenomaniense)

En la sección de referencia la unidad tiene 866 m de espesor; en otros sitios éste es generalmente menor, aunque nunca inferior a los 300 metros a lo largo de la Serranía del Interior. El contacto basal con la Formación Barranquín es concordante y transicional; cerca de las secciones tipo y en general en el flanco sur de la Serranía se coloca arbitrariamente al nivel en el cual la secuencia sedimentaria exhibe carácter predominantemente marino. En los ambientes cercanos a la costa norte, en Anzoátegui y Sucre, el contacto se coloca arbitrariamente por debajo de las calizas espesas características de la Formación Borracha. En el flanco sur de la Serranía el tope de la Formación El Cantil está

marcado por la aparición de calizas negras, concrecionarias, finalmente estratificadas, características de la Formación Querecual. En los ambientes que prevalecieron cerca de la costa septentrional, donde la parte superior de El Cantil se denomina Formación Chimana, el contacto es concordante, transicional y diacrónico y se coloca arbitrariamente donde la secuencia pierde su carácter calcáreo-arenoso y se hace apreciablemente lutítica o margosa. En el estado Monagas el paleoambiente es de plataforma externa subsidente, con aportes detríticos y energía media a alta.

Formación Querecual (Albiense Tardío-Santoniense)

En su sección tipo, se mencionan entre (700 – 750) m y 50 m fallados, hacia su base. Rosales (1960, en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela* 1999), señaló que la formación es uniforme en cuanto a su espesor. Sus afloramientos abarcan toda la Serranía del Interior en Venezuela nororiental, así como hasta el Archipiélago Guaiquerí, frente a Puerto La Cruz. En el subsuelo se la ha reconocido en la región de Guanoco y al norte de la población de Anaco. También se ha extendido a la región piemontina de la Cordillera de la Costa. En su sección tipo, el contacto inferior se encuentra fallado y ha sido descrito como de marcado contraste litológico con las unidades del Grupo Sucre infrayacente, y fundamentalmente, concordante con las formaciones Chimana o El Cantil. Su contacto superior es concordante y transicional con la Formación San Antonio, especialmente cuando esta última es predominantemente ftañítica. En su sección tipo, este contacto se coloca por debajo de la primera capa de arenisca continua de la Formación San Antonio suprayacente; la característica principal de diferenciación entre ambas formaciones, es el aumento en la proporción de areniscas y capas de ftañita negra, característicos de la Formación San Antonio; no obstante, en numerosos sitios de la Serranía del Interior, no es posible establecer una clara distinción entre ambas unidades. Numerosos autores han expresado su conformidad con el ambiente marino (oceánico) euxínico y profundo de la unidad, pero no hay datos exactos sobre su batimetría. González de Juana *et al.* (*op. cit.*), incluyen a las formaciones Querecual y San Antonio dentro de su Provincia Pelágica. Señalan un ambiente marino de poca profundidad, en el

subsuelo del norte de Anzoátegui, la restringe al talud medio a inferior (margen pasivo), para los afloramientos del sur y este de la Serranía del Interior, postula la existencia de corrientes de borde que re trabajaron y escogieron el material, causando en algunos espacios cortos de tiempo, ambientes más oxigenados que permitieron a algunos organismos vivir en el fondo marino y provocar bioturbación.

Formación San Antonio (Cretácico Tardío)

Ocupa la parte septentrional de los estados Monagas, Anzoátegui y Guárico. El contacto con la Formación Querecual, infrayacente, es transicional y se coloca en la capa inferior extrema de arenisca. El contacto con la Formación San Juan, suprayacente, es también transicional, basado en el cambio ascendente a areniscas muy resistentes en capas gruesas, con escasos intervalos delgados de lutitas. En sus estudios sobre el origen de las ftnitas cretácicas de Venezuela, Marcucci (1976, p. 1285, en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela 1999*) concluyó que el ambiente de la Formación San Antonio era transicional entre el ambiente euxínico de Querecual y el ambiente oxigenado (pero no nerítico, como indica el autor) de San Juan, presumiendo la presencia de corrientes periódicas, capaces de transportar clásticos y oxígeno a las aguas estancadas del fondo y una sedimentación lenta.

Formación San Juan (Maestrichtiense Tardío)

La Formación San Juan se extiende desde las cercanías de los caseríos El Rincón-San Diego, al noroeste, hasta las cercanías del río Guayuta, en Monagas, al sureste, donde se halla cubierta por sedimentos cuaternarios, extendiéndose en el subsuelo hasta las cercanías de Guanoco (González de Juana *et al.*, 1980). Constituye una de las unidades más resistentes de la Serranía del Interior oriental; el tope del pico Turimiquire, esta constituido por la cuesta de buzamiento de las areniscas de esta formación. El contacto inferior es concordante pero abrupto, con las limolitas negras de la Formación San Antonio infrayacente. Su contacto superior es gradacional a las pelitas negras de la Formación Vidoño, suprayacente. La Formación San Juan posee forma prismática, y presenta transición lateral a

unidades pelíticas en todas direcciones. El ambiente de sedimentación de la Formación San Juan, es de origen fluvial a marino somero, regresivo con ambientes litorales-costeros.

Formación Vidoño (Campaniense - Eoceno Temprano)

Aflora a lo largo de la Serranía del Interior de Monagas y Anzoátegui (González de Juana, *et al.* 1980). El contacto inferior es con la Formación San Juan y el superior con la Formación Caratas, el cual es concordante y transicional. Hedberg (1950, en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela* 1999) indica que la Formación Vidoño descansa directamente sobre el Grupo Guayuta, en la vecindad de Barcelona y en la isla Borracha, por acuñamiento de las areniscas de San Juan, mientras que al este, se interdigita con las formaciones San Juan y Caratas, desapareciendo hacia el sur a favor de la Formación San Juan. Esta formación se sedimentó en ambientes de plataforma a talud superior, basado en parte, en el carácter arenáceo de la fauna. La sedimentación se produjo durante una transgresión con baja oxigenación, debido a la estratificación de las aguas y/o alta productividad en las capas de aguas superficiales, dando origen a gran acumulación de materia orgánica en las lutitas.

Formación Caratas (Eoceno Temprano a Tardío)

Rosales (1960, en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela* 1999) describió el desarrollo de la formación en la Serranía del Interior del norte de los estados Anzoátegui y Monagas, en donde dividió a Caratas (ex-formación Mundo Nuevo de la Creole) en los miembros Limón (ahora Tinajitas) y Ventarrón (intervalo subyacente de cuarcitas masivas); los cuales conforman hacia el norte a una tercera litofacies indivisible, equivalente a los dos anteriores y compuesta de limolitas calcáreas-glaucóníticas y areniscas. En la sección tipo se ha mencionado un espesor de (315 a 335) m. La Formación Caratas aflora en toda la región piemontina del norte de los estados Anzoátegui y Monagas, desde Barcelona al oeste, hasta las cercanías del cerro Punceres, al este. La unidad ha sido señalada en pozos petroleros al sur del frente de Montañas, en base a su contenido de glauconita, pero no ha sido confirmado paleontológicamente en la mayoría de los

casos. La base de la Formación Caratas es concordante y diacrónica sobre la Formación Vidoño; el contacto se coloca en la primera arenisca que suprayace las pelitas monótonas de la unidad infrayacente. La Formación Caratas se correlaciona con la parte superior de la Formación Vidoño y pasa lateralmente a las margas de la Formación Navet, Trinidad.

Formación Los Jabillos (Oligoceno)

Se extiende desde el campo La Vieja hacia el norte hasta el río Naricual, y desde el Sinclinal de Tinajitas y Río Naricual a lo largo del piedemonte de la Serranía del Interior hasta la Falla San Francisco. Está presente en el subsuelo del campo Quiriquire, en el bloque sobrecorrido de la Falla de Pirital y en el campo La Vieja. En los campos profundos al sur de la Falla de Pirital, su posible presencia está incluida en la Formación Naricual o en el Grupo Merecure. Sísmicamente, Los Jabillos muestra reflexiones de fuerte amplitud y buena continuidad, indistinguibles del resto del Grupo Merecure. La formación es discordante sobre formaciones más viejas, desde Tinajitas hasta Querecual, en el bloque sobrecorrido de la Falla de Pirital del norte de Monagas. Esta discordancia continúa en el subsuelo del flanco sur de la cuenca, en donde la Formación Merecure es discordante encima del Cretácico.

Formación Areo (Oligoceno)

Se introdujo provisionalmente el término Lutita de Areo, para designar una facies marina lutítica, glauconítica y fosilífera, expuesta en el río Areo y otras quebradas del noroeste de Monagas y noreste de Anzoátegui. La formación aflora a lo largo del frente de montañas, en el norte de los estados Anzoátegui y Monagas, encontrándose en el subsuelo en pozos perforados en el área. Hacia el norte, la unidad desaparece por erosión, al sur, pasa transicionalmente a las areniscas de la Formación Merecure. La Formación Areo yace concordantemente sobre la Formación Los Jabillos. Hacia el tope, está en contacto concordante y diacrónico con la Formación Naricual. Al este del área tipo, la formación yace concordantemente con ligera discordancia, bajo la Formación Carapita. En el transecto Cumaná-Urica, describió a la formación como concordante entre las

formaciones Los Jabillos y Naricual. Esta formación se interpreta como un ambiente de plataforma media. Varios autores indican que corresponde a un ambiente sedimentario de plataforma externa a batial superior. En la sección tipo, la Formación Areo tiene más de 305 m de espesor.

Formación Naricual (Oligoceno a Mioceno inferior)

Se extiende en el subsuelo de todo el norte de Monagas. Su litología se divide en tres partes. La parte inferior se compone predominantemente de lutitas carbonáceas y limolíticas. La parte media y superior son de mayor espesor de areniscas resistentes. A esta formación le suprayacen a las lutitas arenosas concordantemente las areniscas de la formación Los Jabillos; hacia el este gradan a la formación Areo, que infrayace a la formación Naricual con un contacto concordante y diacrónico. El espesor de esta formación en su región tipo es de 1730 m aproximadamente, haciéndose más delgada en dirección este por transición a lutitas marinas de la formación Areo. Al norte de Quiriquire desaparece por completo según Lamb (1964, en Hung, E., 1992).

Formación Carapita (Oligoceno a Mioceno)

Se presenta en todo el norte de Monagas, extendiéndose hacia el este hasta el campo petrolífero de Pedernales y por debajo del Golfo de Paria. Su litología es casi exclusivamente lutitas oscuras muy ricas en foraminíferos: en general las arenas son escasas; excepto hacia el sur y el oeste donde la unidad pasa gradualmente a las formaciones Oficina y Capiricual respectivamente. El espesor en la región tipo es de 2150 m, aumentando hasta (4600-6100) m hacia el este, según Renz et. al.(1963, en Hung, E., 1992).

Los contactos de la formación Carapita son: hacia el oeste las lutitas se encuentran concordantes sobre la formación Naricual y Capaya, areniscas con un contacto diacrónico y transicional. Al este suprayacen las lutitas más duras y limolíticas de la formación Areo, con un contacto concordante en general y localmente discordante.

Formación La Pica (Mioceno Superior)

Por encima de la formación Carapita se encuentra la formación La Pica. En el flanco sur la secuencia también es concordante, pero la unidad suprayace a la formación Freites. En el flanco norte la unidad suprayace con fuerte discordancia angular a capas plegadas y erosionadas de la parte superior de la formación Carapita.

En la formación La Pica se han registrado espesores de hasta 1800 m, los cuales contiene arenas y lutitas alternadas. Las lutitas son blandas a medianamente duras, oscuras, típicamente limolíticas, micáceas, ligníticas y frecuentemente interlaminadas con arenas y limos finos. Las arenas son de grano fino a muy fino, no cementadas e intercaladas con limo, arcillas ligníticas y micáceas. La proporción de arenas a lutitas varía lateralmente, influenciadas en parte por dos discordancias intraformacionales muy extendidas.

Formación Las Piedras (Plioceno)

En contacto concordante por encima de la formación La Pica está la formación Las Piedras. Compuesta principalmente de sedimentos finos, mal consolidados, que incluyen areniscas limolíticas más o menos carbonáceas, lutitas arcillosas, arcilita abigarrada y lignitos. La formación Las Piedras alcanza un espesor máximo de hasta 1370 m, según Renz et.al. (1963, en Hung, E., 1992).

Formación Mesa (Plioceno al Pleistoceno)

Formación que suprayace a la formación Las Piedras de forma concordante y de manera transicional. Su litología corresponde a depósitos horizontales deltáicos y palustres, con espesores alrededor de 275 m en su zona tipo, con conglomerados que llegan a ser peñones a lo largo del frente de montaña, pero de texturas más finas en los llanos.

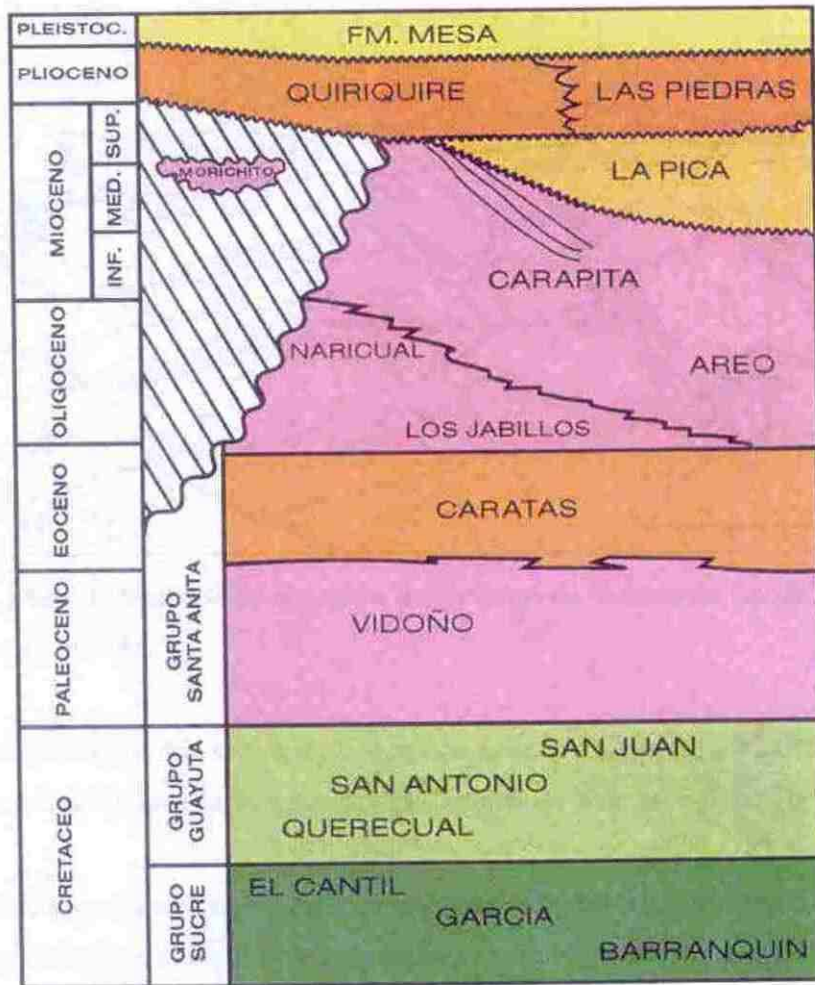


Figura 1 Apéndice. Columna estratigráfica del norte de Monagas (Tomado del Léxico Estratigráfico)