

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 3D Y USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS EN EL CRETÁCICO. BLOQUES IX Y XIV DEL LAGO DE MARACAIBO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Geofísico
Por la Br. Zapata López, Iris C.

Caracas, Octubre 2001

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 3D Y USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS EN EL CRETÁCICO. BLOQUES IX Y XIV DEL LAGO DE MARACAIBO

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Pedro León
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Aldrin Rondón

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Geofísico
Por la Br. Zapata López, Iris C.

Caracas, Octubre 2001

DEDICATORIA

A Quienes me dieron el ser, las personas que más he amado en la vida, Mis Padres. A ti Papá, tú que desde el cielo sigues guiando mis pasos y a ti, Mamita Querida, tú que eres la razón de mi vida, quien me ha enseñado a ser fuerte en los momentos de adversidad, que la pelea se gana peleando y que a pesar de todo siempre hay que sonreír. Para ustedes mi trabajo y mi amor eterno...

A una persona que me ha ayudado muchísimos, sin el este trabajo tal vez no se hubiese realizado, a mi hermano, “Julito”, quien gracias a su trabajo y buen corazón me ha permitido alcanzar esta meta, este trabajo también es para ti y con el mi eterno agradecimiento y cariño...

AGRADECIMIENTOS

A Dios mi Padre-Madre, a Maria Auxiliadora y a todos los seres de luz por estar siempre conmigo y permitir que todas mis metas y sueños se hagan realidad, GRACIAS DIOS por cada uno de los momentos de mi vida, tu eres mi guía, mi fuerza, mi verdad y mi camino es por ello que hoy no consigo una mejor palabra para expresarte todo lo que siento, GRACIAS.

A quienes están conmigo desde el primer día de mi vida, Mi Familia, porque cada uno de ustedes han sido mi fuente de inspiración, gracias por su amor y colaboración, gracias por estar allí siempre. A mis padres por darme la vida y con ella todo su amor, a mis hermanos en especial a la niña por ser mas que mi hermana mi amiga, a mi cuñada por ser mi hermana y a mis sobrinos, a quienes quiero como mis hijos, por enseñarme cada día lo que es amar.

A “La casa que vence la sombra” porque más que mi universidad fue mi segundo hogar. En ella aprendí más que una profesión, aprendí a ser cada día una mejor persona.

A Petróleos de Venezuela por permitirme realizar mi trabajo especial de grado en sus instalaciones. Al Dr. Eduardo Prazel, al Ing. Douglas Fuenmayor y a la Sra. Ana Mercedes Ferrer quienes me prestaron toda su colaboración a la hora de comenzar este trabajo. Quiero agradecer especialmente a los miembros de la Gerencia de Estudios Integrados Lagomedio, Camilo, Aldrin, Ricardo, Enio, Gonzalo, Lucienne, Cesar, José Luis, Freddy, Eudo, María, Johan, José (el chino), Mirna, Benjazmin, Manuel, Sonia, Lenis, Diana, Carolina, Luis y Andrés, con quienes compartí muy buenos momentos gracias por hacerme sentir un miembro más de la familia.

A mis tutores Pedro León, Aldrin Rondón, Ricardo Carrizales y Camilo Aloisi por su gran ayuda, paciencia y cariño al momento de guiarme durante la realización de este trabajo.

A Félix Díaz por brindarme tu amistad desde el día que nos conocimos, sin ti este trabajo no seria una realidad, GRACIAS por ser como eres, humilde con un gran corazón y sobre todas las cosas un gran ucevista, sigue así por siempre.

A Camilo porque más que mi compañero de oficina o tutor fuiste mi amigo y mi confidente.

A Edmundo Peralta y Gustavo Montenegro por su gran colaboración y amistad. A Saúl Trujillo quien tomo parte de su tiempo para dedicarlo a ayudarme, a pesar de la distancia.

A Celia, José, Alix y Kelly por acogerme en su hogar y hacerme sentir como que si estuviese en mi casa. Gracias por su cariño, compañía y cuidados. Para ustedes todo mi amor.

A mis compañeros tesistas Darnelly, Sandy, Alchami, Jaro, Eros y Rodolfo, por que con ustedes compartí muy buenos momentos.

A quienes más que este trabajo han compartido conmigo gran parte de mi vida, “Mis Amigos”. A mis amigas de siempre Saymar, Indira, Milagros y Juana (la negra) porque nuestra amistad va más allá de la distancia y el tiempo. A quienes comenzaron conmigo este camino que con este trabajo llega a su fin Anngiberth, Mayra, Mercedes, Yamel, Armando, Ronald, y Luis, Gracias por continuar conmigo. A quienes se fueron integrando con el tiempo Alejandra, Mariela, Franklin, Yaraixa, Maria Mercedes, Aimé, Boris, Peterson, Javier, Faimy, Fabiola, Eros, José, Cesar, Liz y Welser. A todos los que de una u otra forma han estado conmigo (disculpen mi memoria aquellos que no nombré), porque cada uno de ustedes me han enseñado el valor de la AMISTAD.

A las bibliotecas de la Facultad de Ingeniería y de la escuela de Geología, Minas y Geofísica, muy especialmente a Maritza, Montilla, Morella y Eduardo (el flaco), quienes mas que brindarme un servicio me brindaron su amistad.

A mis profesores en particular a Nuris Orihuela quien fue mi fuente de inspiración y quien me dio muy buenos consejos siempre que lo necesite, José Cavada quien a su manera me hizo sentir su afecto y valiosa amistad y a Marcos Figueroa quien con su cariño me hizo sentir que había encontrado en el un padre.

Zapata L., Iris C

INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL 3D Y USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS EN EL CRETÁCICO. BLOQUES IX Y XIV DEL LAGO DE MARACAIBO

Tutor Académico: Ing. Pedro León. Tutor Industrial Ing. Aldrin Rondón. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2001, n° pág 92.

Palabras Claves: Interpretación estructural, Atributos sísmicos, Cretácico.

Resumen. El presente trabajo está centrado en la interpretación sísmica estructural 3D y uso de atributos sísmicos en el Cretáceo de los Bloques IX Y XIV del Lago de Maracaibo. A partir del cual se definió el modelo estructural, deduciéndose la evolución estructural la cual se asocia a cuatro eventos tectónicos principales: la fase tensional del Jurásico- Cretácico, la fase tensional del Eoceno Temprano a Medio, la fase compresiva del Eoceno Tardío y la fase compresiva asociada al levantamiento de los Andes venezolanos.

La estructura principal en el área es la falla Lama-Icotea, de rumbo NNE-SSO y buzamiento hacia el Oeste el cual cambia en la zona sur del área hacia el este, donde junto a la falla VLE-400 forman una depresión. La falla Lama-Icotea divide el área en dos bloques, un horst en el flanco Este y un graben en el flanco Oeste.

Se realizaron mapas de atributos sísmicos basados en volumen en los reflectores asociados a las Formaciones Lisure y Apón los cuales respondieron principalmente a patrones estructurales. Dichos mapas se compararon con mapas de atributos sísmicos estructurales observándose para los mapas de amplitud y frecuencia que valores de baja amplitud y altas frecuencia se corresponden con zonas altamente fracturadas.

El uso de atributos sísmicos en los reflectores asociados con los topes de las formaciones Lisure y Apón nos permitió la caracterización de los yacimientos Cretácicos del área de interés, para la cual se utilizaron técnicas de correlación entre atributos sísmicos y propiedades petrofísicas, generándose mapas de pseudo propiedades que junto a los mapas estructurales y la información de producción de los pozos del área permitieron delimitar dos zonas prospectivas en las cuales se proponen siete nuevas localizaciones

Caracas, Octubre del 2001

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Iris C. Zapata L., titulado:

**“Interpretación Sísmica Estructural 3D Y Uso de Atributos Sísmicos en el Cretácico.
Bloques IX Y XIV del Lago De Maracaibo”**

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

Ing. Cornelio Urbina
Jurado

Ing. Oswaldo Salazar
Jurado

Ing. Pedro León
Tutor Académico

Ing. Aldrin Rondón
Tutor Industrial

INDICE

	Pag.
<i>I.- INTRODUCCIÓN.</i>	1
I.1.- Objetivos y alcances del trabajo.	1
I.1.1.- General	1
I.1.2.- Específicos	1
I.1.3.- Académico	1
I.2.- Ubicación del área de estudio.	1
I.3.- Metodología.	2
I.3.1.- Recopilación de la información	2
I.3.2.- Carga y Validación de la información	2
I.3.3.- Interpretación sísmica estructural	3
I.3.4.- Elaboración de mapas	3
I.3.5.- Análisis de atributos sísmicos	3
I.4.- Trabajos Previos.	3
<i>II.- MARCO GEOLÓGICO.</i>	4
II.1.- Geología Regional.	4
II.1.1.- Características estructurales regionales	4
II.2.- Evolución Tectónica de la Cuenca del Lago de Maracaibo	5
II.2.1.- Pre – Triásico	5
II.2.2.- Triásico – Jurásico	6
II.2.3.- Cretácico	6
II.2.4.- Paleoceno – Eoceno	7
II.2.5.- Eoceno Tardío – Oligoceno	9
II.2.6.- Oligoceno – Mioceno	9
II.2.7.- Mioceno Tardío – Plioceno	10
II.3.- Estratigrafía de la Cuenca del Lago de Maracaibo.	12
II.3.1.- Jurásico	12
II.3.1.1.- Formación La Quinta	12
II.3.2.- Cretácico	13
II.3.2.1.- Formación Río Negro	13
II.3.2.2.- Grupo Cogollo	13
II.3.2.2.1.- Formación Apón	13
II.3.2.2.2.- Formación Lisure	13
II.3.2.2.3.- Formación Maraca	14

II.3.2.3.- Formación La Luna	15
II.3.2.4.- Formación Colón	15
II.3.2.4.1.- Miembro Socuy	15
II.3.2.5.- Formación Mito Juan	16
II.3.3.- Paleoceno	17
II.3.3.1.- Formación Guasare	17
II.3.4.- Eoceno	17
II.3.4.1.- Formación Misoa	17
II.3.5.- Oligoceno	17
II.3.5.1.- Formación Icotea	17
II.3.6.- Mioceno	17
II.3.6.1.- Formación La Rosa	17
II.3.6.2.- Formación Lagunillas	18
II.3.6.3.- Formación La Puerta	18
II.3.7.- Plioceno – Pleistoceno	19
II.3.7.1.- Formación Onia	19
II.3.7.2.- Formación El Milagro	19
II.4.- Geología Local.	19
II.4.1.- Características estructurales	19
II.4.2.- Estratigrafía	21
III.- MARCO TEÓRICO	23
III.1.- Sísmica 3D	23
III.2.- Interpretación sísmica 3D	24
III.2.1.- Procesos de interpretación	24
III.3.- Tiros de verificación o Check – Shots	25
III.4.- Sismogramas sintético	26
III.4.1.- Procedimiento para su elaboración	26
III.5.- Atributos Sísmicos	27
III.5.1.- Clasificación de los atributos sísmicos	29
III.5.2.- Atributos derivados de la traza sísmica	30
III.5.3.- Tipos de mapas de atributos	32
IV.- INTERPRETACIÓN SÍSMICA	34
IV.1.- Interpretación estructural	34

IV.1.1.- Recopilación de la información	34
IV.1.2.- Carga y validación de la información	34
IV.1.3.- Calibración sísmica – pozo	37
IV.1.4.- Determinación de la continuidad	39
IV.1.5.- Interpretación de horizontes	39
IV.1.6.- Interpretación de fallas	43
IV.1.6.1.- Evolución estructural del área de estudio	47
IV.1.7.- Generación del modelo de velocidades–Conversión tiempo-profundidad	47
IV.1.8.- Secciones estructurales y estratigráficas	48
IV.1.9.- Mapas en Profundidad	49
IV.1.10.- Modelo sísmico estructural 3D	51
IV.2.- Análisis de atributos sísmicos	53
V.- PRODUCCIÓN	58
V.1.- Generalidades	58
V.2.- Historias de producción de los pozos Cretácicos, Bloques IX y XIV	59
V.2.1.- Bloque IX	59
V.2.1.1.- SVS 0001	59
V.2.1.2.- SVS 0061	60
V.2.1.3.- SVS 0078	60
V.2.1.4.- SVS 0104	61
V.2.1.5.- SVS 0129	61
V.2.1.6.- SVS 0131	63
V.2.1.7.- SVS 0149	63
V.2.1.8.- SVS 0153	64
V.2.1.9.- SVS 0162	64
V.2.1.10.- SVS 0176	66
V.2.1.11.- SVS 0198	67
V.2.1.12.- SVS 0205	68
V.2.1.13.- SVS 0213	68
V.2.1.14.- SVS 0218	69
V.2.1.15.- SVS 0225	70
V.2.1.16.- SVS 0229	71
V.2.2.- Bloque XIV	72
V.2.2.1.- LMA 0066	72
V.2.2.2.- LMA 0072	73

V.2.2.3.- LMA 0074	74
V.2.2.4.- LMA 0077	75
V.2.2.5.- LMA 0078	76
V.2.2.6.- LMA 0080	77
V.2.2.7.- LMA 0090	78
V.2.2.8.- LMA 0092	78
V.2.2.9.- LMA 0093	79
V.2.2.10.-LMA 0094	79
VI.- ÁREAS PROSPECTIVAS Y CÁLCULO DE RESERVAS	81
VI.1.- Áreas prospectivas	81
VI.2.- Cálculo de reservas	81
VI.2.1.- Cálculo tipo	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	88

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Pag.</i>
I.1.- Ubicación del área de estudio.	2
II.1.- Marco estructural dominante en la cuenca occidental asociada al nivel lutítico de la Formación Colón.	5
II.2.- Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela.	6
II.3.- Configuración Tectónica durante el periodo Paleoceno – Eoceno.	8
II.4.- Generación de cuencas extensionales asociadas a transurrencia al Sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana.	9
II.5.- Máximo desarrollo del “Pull-Apart” del Estado Falcón y generación de extensas áreas positivas en la Cuenca de Maracaibo y Norte de Falcón.	10
II.6.- Corte estructural NW - SE a través de la Cuenca de Maracaibo, desde los Andes Merideños hasta la Serranía de Perijá.	11
II.7.- Cuadro de correlaciones de las unidades más importantes dentro del Cretácico Temprano de Venezuela.	14
II.8.- Distribución de facies sedimentarias durante el Cretácico Temprano al Norte del Cratón de Guayana	15
II.9.- Cuadro de correlaciones de las formaciones más importantes dentro del Cretácico Tardío de Venezuela.	16
II.10.- Distribución de facies sedimentarias durante el Cretácico Tardío al Norte del Cratón de Guayana.	16
II.11.- Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo.	20
II.12 Columna estratigráfica del Cretácico Bloques IX/XIV del Lago de Maracaibo.	22
III.1.- Geometría de adquisición sísmica.	23
III.2.- Geometría de adquisición de tiros de verificación sísmica	26
III.3.- Esquema del recorrido de las ondas, ecuaciones, interfase, litología, coeficientes y sismograma idealizado.	27
III.4.- Atributos sísmicos según el tipo de procesos.	30
III.5.- Barra de colores que permite identificar la tendencia en los datos.	33
IV.1.- Diagrama de flujo de la interpretación sísmica estructural 3D.	35
IV.2.- Ejemplo de la edición de una curva con diferentes corridas.	36
IV.3.- Espectro de frecuencia.	36
IV.4.- Sismograma sintético del pozo SVS 0198.	38

IV.5.- Sección sísmica calibrada, indicando los reflectores que identifican a los topes geológicos.	39
IV.6.- Mapa de ubicación del área de interés de la U.E. Lagomedio en el cubo sísmico Lagomerge 3D.	40
IV.7.- Sección sísmica en sentido O-E donde se observan los tres horizontes interpretados.	41
IV.8.- Vista tridimensional del horizonte correspondiente al Miembro Socuy, interpretado automáticamente.	41
IV.9.- Mallado y mapa en tiempo del horizonte interpretado correspondiente al tope de la Formación Apón.	42
IV.10.- Visualización tridimensional del horizonte interpretado correspondiente al tope de la Formación Lisure.	43
IV.11.- Mapas de atributos sísmicos estructurales utilizados para identificar las fallas.	44
IV.12.- Sección horizontalizada a 2860 ms donde se observan las alineaciones principales.	45
IV.13.- Sección sísmica en sentido O-E del cubo de varianza donde se observan las estructuras principales.	45
IV.14.- Sección sísmica en dirección O-E con fallas interpretadas.	46
IV.15.- Sección sísmica en dirección N-S con fallas interpretadas.	46
IV.16.- Modelo de velocidades correspondiente a la Formación Apón.	48
IV.17.- Sección estructural realizada paralela a la falla principal.	49
IV.18.- Mapa estructural en profundidad del Miembro Socuy (Fm. Colón).	50
IV.19.- Vista general del modelo sísmico estructural 3D.	51
IV.20.- Vista tridimensional del Flanco Oeste de la falla Lama – Icotea	52
IV.21.- Vista tridimensional del Flanco Este de la falla Lama – Icotea	52
IV.22.- Mapas de atributos sísmicos de volumen de la Formación Lisure	53
IV.23.- Matriz de calidad de correlación entre los valores de las propiedades petrofísicas y los mapas de atributos sísmicos para la Formación Lisure.	54
IV.24.- Mapas de pseudo porosidad y pseudo saturación para la Formación Lisure.	55
IV.25.- Matriz de calidad de correlación entre las propiedades petrofísicas y los atributos sísmicos para la Formación Apón.	56
IV.26.- Mapas de pseudo saturación, pseudo porosidad y pseudo CNP de la Formación Apón.	56
IV.27.- Mapas de similitud para la Formación Lisure.	57

V.1.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0001	59
V.2.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0061	60
V.3.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0078	61
V.4.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0104	62
V.5.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0129	62
V.6.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0131	63
V.7.-Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0149	64
V.8.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0153	65
V.9.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0162	65
V.10.-Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0176	66
V.11.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0198	67
V.12.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0205	68
V.13.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0213	69
V.14.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0218	70
V.15.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0225	71
V.16.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0229	72
V.17.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0066	73
V.18.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0072	74
V.19.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0074	75
V.20.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0077	76
V.21.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0078	77
V.22.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0080	78
V.23.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0092	79
V.24.- Mapa de producción acumulada de los pozos Cretácico de los Bloques IX y XIV del Lago de Maracaibo.	80
IV.1.- Mapa estructural del Miembro Socuy donde se muestran las áreas prospectivas y las nuevas localizaciones.	82

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pag.
VI.1.- Parámetros petrofísicos utilizados en el cálculo de las reservas	83
VI.2.- Petróleo en sitio y reservas recuperables estimadas de las áreas prospectivas.	83
1.1.- Topes formacionales de los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque IX.	88
1.2.- Topes formacionales de los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque IX (Cont.)	88
1.3.- Topes formacionales de los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque XIV.	89
1.4.- Topes formacionales de los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque XIV (Cont.)	89
2.1.- Registros disponibles en los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque IX.	90
2.2.- Registros disponibles en los pozos Cretácicos ubicados en el Bloque XIV.	91
3.1.- Parámetros petrofísicos utilizados en la generación de los mapas de pseudo propiedades.	92 .

I.- INTRODUCCIÓN.

I.1- OBJETIVOS

I.1.1.- General:

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar la prospectividad de las estructuras cretácicas en los Bloques IX y XIV en la cuenca de Maracaibo, estado Zulia, mediante la interpretación de 432 Km² de datos sísmicos 3D, el uso de atributos sísmicos y el análisis e interpretación de registros de pozos, lo cual permitirá definir el marco estructural y proponer la evolución tectónica del área que pueda incrementar las reservas en la base de recursos de la corporación.

I.1.2.- Específicos:

Generar mapas estructurales en tiempo y profundidad de las calizas cretácicas, mediante la interpretación del volumen sísmico tridimensional.

Establecer correlaciones entre parámetros sísmicos (amplitud, frecuencia, impedancia) y parámetros petrofísicos (caliza neta petrolífera, porosidad, saturación de petróleo), como manera de predicción de áreas prospectivas

Proponer localizaciones en el área.

I.1.3.- Académico:

Cumplir con el último requisito para optar al título de Ingeniero Geofísico, en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

I.2.- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el centro del Lago de Maracaibo y está comprendida por los Bloques IX y XIV (figura I.1). Está limitada al Norte por los Bloques I y XII, al Este por los Bloques X, VIII y XII, al Oeste por el Bloque XV y al Sur por el Bloque VI; con un área aproximada de 432 Km². La ubicación geográfica en coordenadas UTM es la siguiente:

Este mínimo: 203959

Norte mínimo: 1088982

Este máximo: 221935

Norte máximo: 1112949

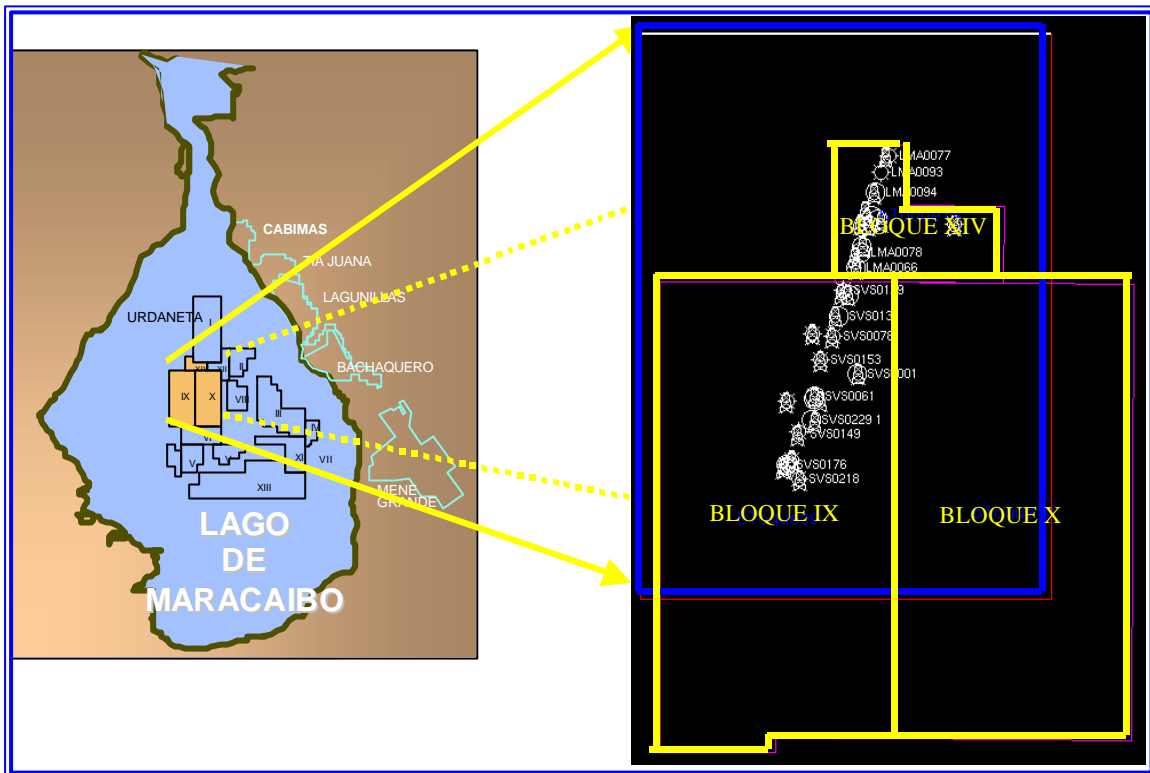


Figura I.1.- Ubicación del área de estudio.

I.3.- METODOLOGÍA

I.3.1- Recopilación de la información.

Recopilación de la información bibliográfica existente.

Revisión de la base de datos geológicos de pozos.

Recopilación de registros petrofísicos y registros de sísmica de pozos.

Revisión de la información sísmica disponible.

I.3.2- Carga y Validación de la información.

Edición de curvas.

Cálculo de la resolución vertical.

Elaboración de sismogramas sintéticos.

Calibración de la información sísmica a partir de los sismogramas sintéticos e información geológica de pozos.

Construcción de gráficos Tiempo- Profundidad (curvas T-Z).

1.3.3.- Interpretación sísmica estructural

Determinación de la continuidad.

Interpretación (manual y automática) de los horizontes geológicos de interés.

Interpretación de patrones de fallamientos, pliegues y posibles trampas petrolíferas.

1.3.4.- Elaboración de mapas.

Elaboración de mapas de patrones de fallamientos.

Elaboración de mapas en tiempo de los horizontes interpretados.

Conversión Tiempo – Profundidad, mediante la función de velocidades para cada uno de los horizontes interpretados.

Elaboración de mapas estructurales en profundidad.

Elaboración del modelo sísmico estructural 3D.

1.3.5.- Análisis de atributos sísmicos.

Correlación de parámetros sísmicos con parámetros petrofísicos.

1.4.- TRABAJOS PREVIOS

Verenzuela, Azpiritzaga, Bueno y Oquendo (1995) realizaron un estudio integrado para la caracterización del grupo Cogollo del Cretácico del Bloque IX/XIV del Lago de Maracaibo.

Bueno y Pinto (1994) definieron el modelo estructural y caracterizaron el yacimiento cretácico de la parte norte de bloque IX, a partir de mapas de atributos sísmicos en los reflectores asociados con los topes de las formaciones Maraca y Apón.

Bueno y Zubizarreta (1992) realizaron la interpretación estructural del levantamiento sísmico tridimensional de Lama Norte del Lago de Maracaibo.

II.- MARCO GEOLÓGICO.

II.1.- GEOLOGÍA REGIONAL

La Cuenca del Lago de Maracaibo está situada al Noroeste de Venezuela, cubriendo un área total de 52.000 km², correspondiente en su mayor parte al estado Zulia y extensiones menores de los estados Táchira, Mérida y Trujillo. Estructuralmente se encuentra limitada por la falla de Oca al Norte, la Sierra de Perijá al Oeste, el flanco occidental de los Andes Venezolanos al Este, y la falla de Boconó al Sureste. Topológicamente se extiende sobre toda el área ocupada por las aguas del Lago de Maracaibo y los terrenos planos suavemente ondulados que la circundan.

II.1.1.- Características Estructurales Regionales.

La Cuenca del Lago de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: La Sierra de Perijá al Oeste, Los Andes de Mérida al Sureste y la Serranía de Trujillo al Este, completando con el sistema de la falla de Oca en el Norte. Estos elementos tectónicos mayores fueron calificados por González de Juana *et al.*(1980) como “Cinturones Móviles” .

La falla de Oca constituye el límite septentrional de la Cuenca de Maracaibo. Se le atribuye un movimiento dextral de magnitud variable, habiéndose relacionado su movimiento con la falla de San Sebastián, en la costa centro Norte de Venezuela y la Falla del Pilar, al Sur de la Península de Paria. La falla de Oca no afectó en forma apreciable la estructura de la Cuenca (*Ibidem*, 1980).

Dentro de los cinturones móviles se desarrolla un amplio sinclinorio y dentro del mismo se conocen diversos alineamientos tectónicos, subparalelos al elemento tectónico mayor cercano. En la Cuenca del Lago, los ejes y las fallas más importantes tienen una fuerte componente Norte, tal como se aprecia en el alineamiento La Paz-Mara o la falla de Icotea y el anticlinal de Misoa-Mene Grande-Motatán, subparalelos al grano de la Sierra de Perijá (González de Juana *et al.*, 1980).

Se conocen cinco alineamientos principales de dirección aproximada Sur-Norte, los cuales son: el alineamiento de La Paz-Mara-El Moján, el alineamiento de Icotea, el alineamiento de Pueblo Viejo Ceuta, la estructura de Misoa-Mene Grande y el anticlinorio de Tarra. La característica común es el severo fallamiento longitudinal sobre o cerca de las zonas cretales (González de Juana *et al.*, 1980, figura II.1).

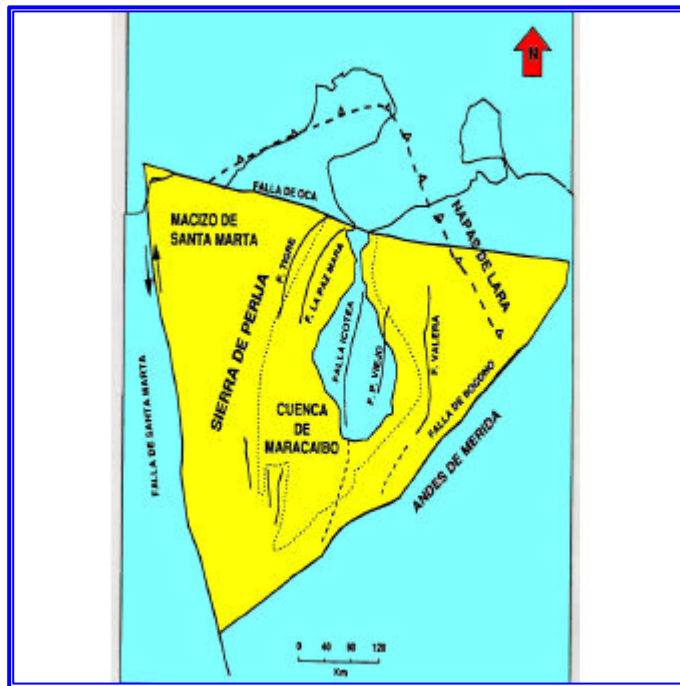


Figura II.1.- Marco estructural dominante en la cuenca occidental asociada al nivel lutítico de la Formación Colón.

II.2.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.

Se han planteado distintos modelos de tectónica de placas por diversos autores para explicar el origen y evolución de la placa Caribe, y su influencia sobre el margen Norte de Sudamérica. Todos los modelos de evolución de la tectónica del Norte de Venezuela tienen en común que se inician con una apertura continental durante el Jurásico, la generación de la Placa Proto Caribe y sus márgenes pasivos en Norte y Sudamérica, los cuales alcanzaron su máximo desarrollo durante el Cretácico. A continuación se señalan los principales eventos tectónicos, desde el Tríasico hasta el Reciente que intervinieron en la evolución geológica del Norte de Venezuela (Rondón, 1998).

II.2.1.- Pre – Tríasico.

El Pre – Tríasico en la Cuenca de Maracaibo se puede dividir en dos provincias tectónicas, a partir de la zona de fallas Icotea – Urdaneta la cual corresponde a una posible zona de sutura entre Laurencia y Gondwana durante la convergencia Permo – Carbonífera (Bartok, 1993): La provincia Sierra de Perijá al Oeste y la provincia CentroLago – Flanco Norandino al Este.

II.2.2.- Tríasico - Jurásico.

Durante este período, Lugo (1991) considera que la ruptura de Pangea envuelve a toda la corteza terrestre; su expresión en Venezuela se evidencia con horst, grabens y semigrabens de orientación NNE (figura II.2). Como consecuencia de este evento se produce la depositación de sedimentos continentales (capas rojas), además de volcánoclasticos contemporáneos con los grabens, constituyendo estos depósitos lo que ahora se conoce como Formación La Quinta.

Las fallas de borde de los grabens, de dirección general NNE, permanecen como zonas de debilidad a través del tiempo y corresponden al sitio de las grandes inversiones estructurales (Audemard, 1991).

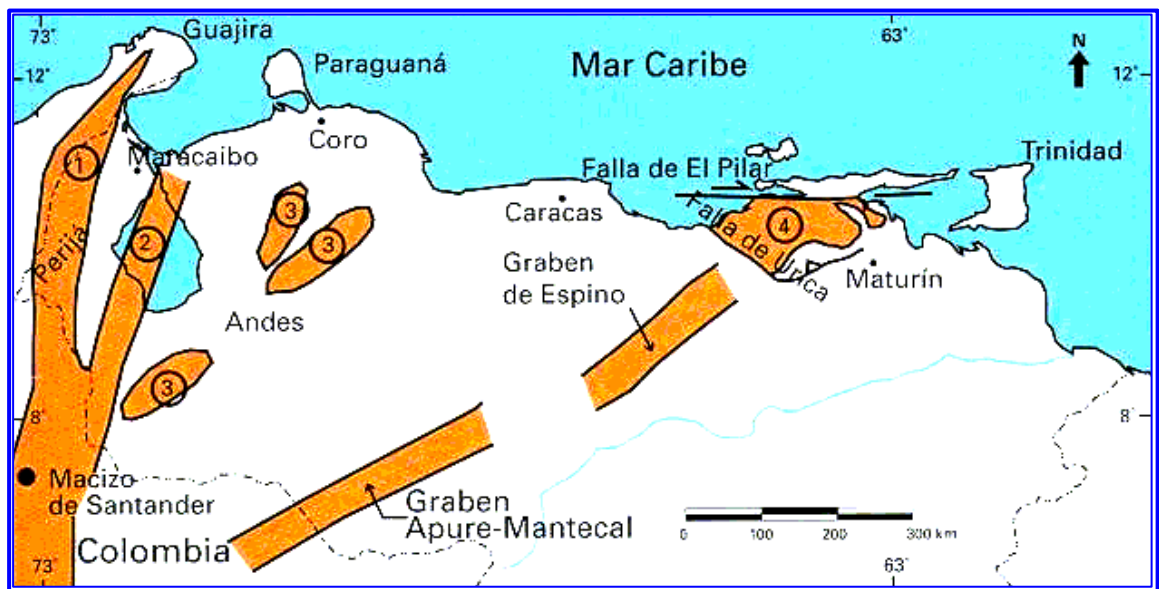


Figura II.2.- Distribución de las rocas Jurásicas en Venezuela, mostrando que las mismas se encuentran aflorando en: 1.- La Sierra de Perijá, 2.- Cuenca de Maracaibo, 3.- Los Andes, 4.- Barinas Apure y Serranía del Interior. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.2.3.- Cretácico.

Durante este período, Lugo (1991) menciona una estabilización del proceso y una depositación carbonática en un margen pasivo tipo Atlántico (Formación Río Negro).

La transgresión marina cretácica marca el comienzo de un largo período de subsidencia y relajación termal del borde septentrional de la placa suramericana.

En la Cuenca del Lago de Maracaibo, el carácter transgresivo causado por los efectos eustáticos y de subsidencia asociada a la carga sedimentaria en la plataforma tipo Atlántico, iniciada al principio del Cretácico, finaliza con una etapa regresiva que corresponde a la

Formación Colón. El Arco de Mérida se encuentra parcialmente emergido (Audemard, 1991; Lugo y Mann, 1995). La presencia del Arco de Mérida durante el Cretácico controla la distribución de las unidades carbonáticas y clásticas, las cuales se adelgazan hacia los flancos de este alto (Lugo y Mann, 1995).

A finales del Cretácico se originan en Colombia eventos orogénicos importantes, debido a la interacción del margen Sur de la placa Caribe con el borde Norte de la placa Suramérica (Audemard, 1991). Esta interacción migra hacia el Este durante el Cretácico Tardío - Paleoceno Temprano y ejerce su influencia sobre el margen Noreste de Venezuela.

II.2.4.- Paleoceno – Eoceno.

Ostos (1990) señala en su estudio que, como consecuencia de la colisión con el arco de Las Bahamas, la Placa Caribe comenzó a moverse en dirección Este, lo que causó una rotación en el sentido de las agujas del reloj del terreno transpresional de Venezuela (Arco de Tiara, Complejo de Sebastopol, Faja de Villa de Cura, Cinturón Caucaagua - El Tinaco, Ofiolitas de Siquisique) los cuales se ubican justo al Norte de la Cuenca del Lago de Maracaibo durante el Paleoceno-Eoceno inferior. En la Cuenca de Maracaibo, la rotación horaria causó la reactivación de antiguas estructuras Jurásicas, como el alineamiento de Lama-Icotea y la falla Lama – Este, que facilita dicha rotación mediante movimientos transcurrentes sinestrales.

Lugo (1991) señala la convergencia tectónica al Norte de Venezuela la cual se caracteriza por una serie de colisiones y suturas de terrenos, derivados del choque de la Placa Caribe con el margen continental pasivo (figura II.3). Dicha colisión fue diacrónica en el Norte de Venezuela, comenzando para el Paleoceno Tardío en el Noroeste de la cuenca. Stephan (1977) indica la presencia de olitostromos Cretácicos avanzando hacia el Sureste, en sedimentos de edad Paleoceno y Eoceno Medio.

Dichos sedimentos se depositaron en una cuenca “Foreland” producida como consecuencia de la flexura cortical, obteniéndose un estilo estructural que se encuentra definido por fallas extensionales con orientación Noroeste, siendo esto una reacción de la carga tectónica de los terrenos caribes emplazados desde el Norte. Para adaptarse a esta nueva situación, la antigua plataforma Cretácica tuvo que combarse hacia la antefosa. Aunque, debido a sus sedimentos competentes, en realidad se quebró formando fallas normales escalonadas las cuales se reactivaron en forma sinsedimentaria durante el Eoceno. En esta cuenca, la fuente de aporte de sedimentos es también el frente de corrimientos; éstos a su vez,

al ir avanzando van envolviendo lo que han sedimentado. A medida que el orógeno avanza hacia el sur la cuenca migra en esa dirección, produciéndose una flexión de esta medida que choca con el Arco de Mérida. Audemard (1991) resalta la migración de estos “foredeeps” hacia el Este.

El Eoceno Temprano se caracteriza por la colisión oblicua de la placa del Caribe con la placa Suramericana. La deformación asociada produce el emplazamiento en dirección S–SE de las Napas de Lara (Arminio et. al., 1994).

Según Pestman et. al. (1995), las siguientes deformaciones se pueden relacionar directamente con el emplazamiento de las Napas de Lara:

- 1.- Desarrollo de un posible alto periférico en la zona central de la cuenca (Pindelly Barrett, 1990);
- 2.- Una antifosa en Zulia Oriental y Falcón;
- 3.- Fallas normales (incluyendo fallas pre-existentes reactivadas), entre las cuales las principales son las de Icotea, Pueblo Viejo, La Paz, Urdaneta Oeste, Tigre/Cachirí y Begote.

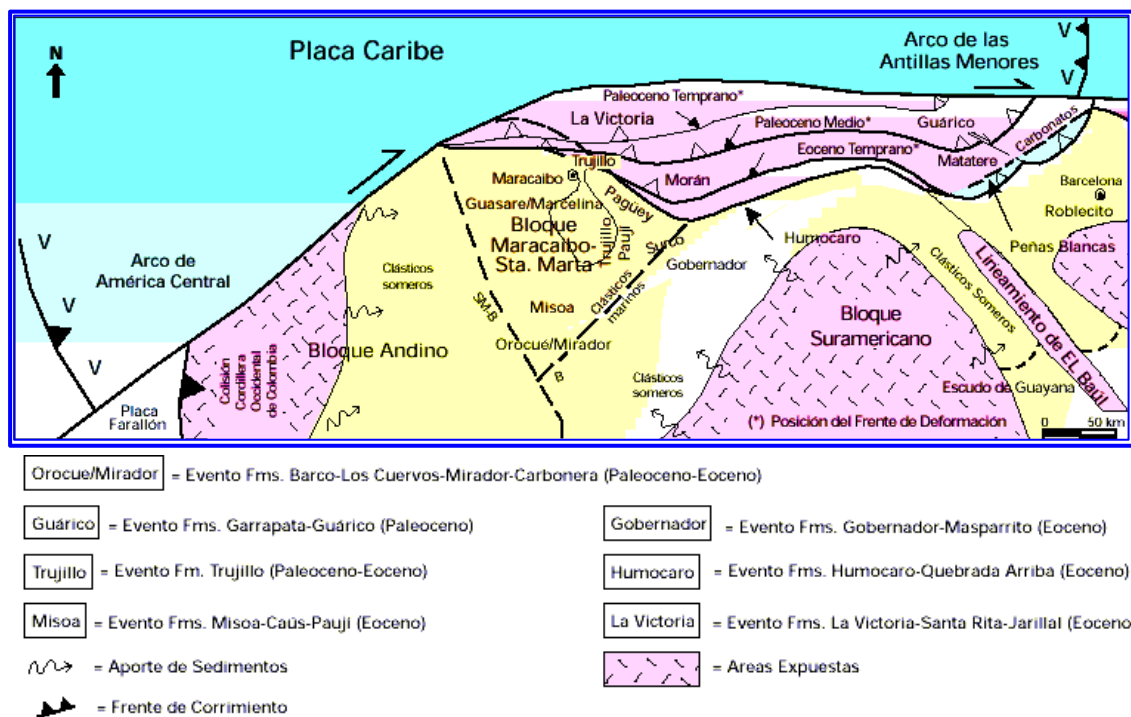


Figura II:3.- Configuración Tectónica durante el periodo Paleoceno – Eoceno. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.2.5.- Eoceno Tardío - Oligoceno.

Durante este período se genera el levantamiento de la Sierra de Perijá. El sistema de esfuerzos que afecta la Sierra de Perijá, también ejerce influencia sobre el Lago de Maracaibo al provocar pulsos compresionales en dirección NO-SE a E-O, los cuales causan la inversión estructural del sistema transcurrente de rumbo N a N-NE. Se inicia también el levantamiento andino, lo cual se expresa en la Cuenca de Maracaibo mediante esfuerzos de compresión NO-SE. Los cambios provocaron la inversión estructural del sistema transcurrente N-S a NNE-SSO.

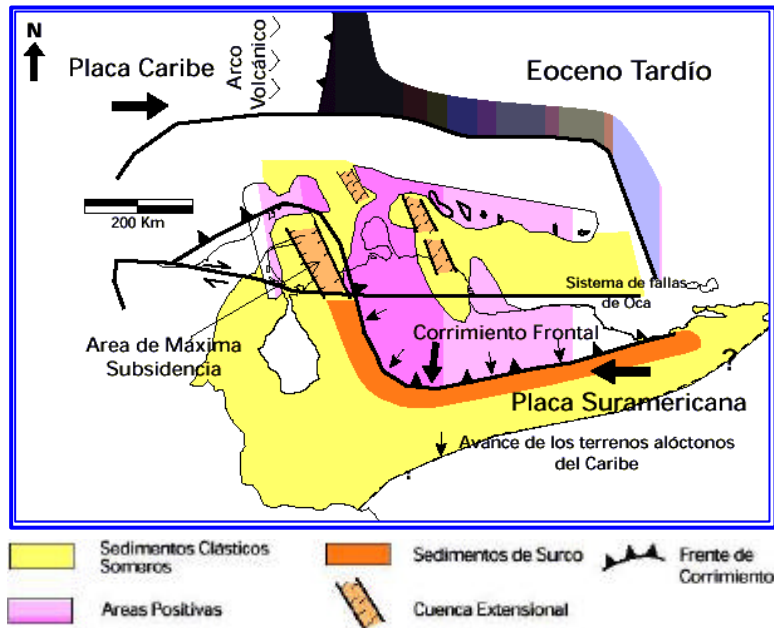


Figura II.4.- Generación de cuencas extensionales asociadas a transcurrencia al Sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.2.6.- Oligoceno - Mioceno.

Durante este período se mantiene el avance hacia el Este de la Sierra de Perijá, al tiempo que se levanta el Macizo de Santander. Al Norte y Este de la falla de Oca, se formaron una serie de semigrabens, desde un sistema de relevamiento dextral escalonado de fallas de cizallamiento, superpuestas sobre el cinturón de pliegue del Caribe interno (Audemard, 1991, figura II.5).

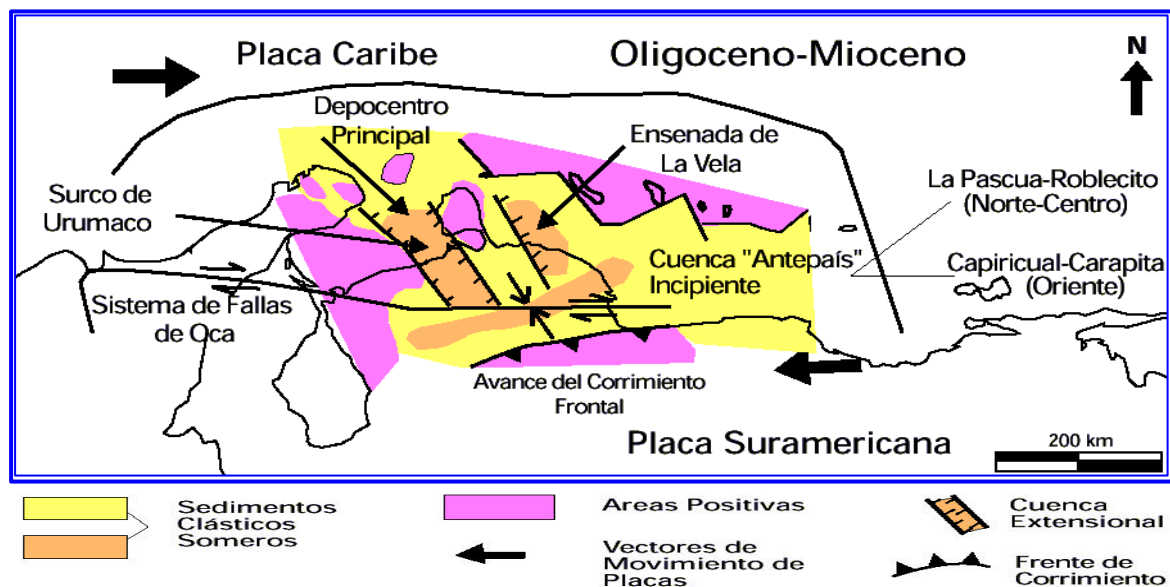


Figura II.5.- Máximo desarrollo del “Pull-Apart” del Estado Falcón y generación de extensas áreas positivas en la Cuenca de Maracaibo y Norte de Falcón; hacia el Sur y Este, evolucionó la cuenca antepaís desarrollando “Surcos” como los de las Formaciones La Pascua – Roblecito (Eoceno Tardío - Oligoceno) y Carapita – Capiricual (Mioceno Temprano - Medio). Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

Ostos (1990) resalta el desplazamiento del bloque de Santa Marta - Maracaibo hacia el Norte por las fallas de Boconó y Santa Marta en una tectónica de escape.

Lugo (1991) menciona que el levantamiento de los Andes y Perijá, es una consecuencia de la subducción de las placas Caribe y Nazca. El “foredeep” migró del Norte de la cuenca al Sureste. Del Oligoceno al Mioceno Medio, el principal levantamiento tuvo lugar en la Sierra de Perijá. Este autor también interpreta que durante el Mioceno Medio después de un período de quietud, la transpresión se incrementó hacia el Norte, a lo largo de las fallas anteriormente mencionadas.

II.2.7.- Mioceno Tardío – Plioceno.

Durante el Mioceno Tardío el acortamiento mayor para este tiempo se ve evidenciado por el gran relieve estructural que genera el levantamiento de los Andes.

Lugo (1991) hace énfasis en las consecuencias de la compresión Este - Oeste producida por el contacto Nazca - Suramérica, entre las cuales se encuentra la generación de corrimientos con dirección Norte - Sur en la Sierra de Perijá, así como en el Este y Oeste de la Cuenca del Lago de Maracaibo, la migración del “foredeep” en dirección Noreste. Durante este período persiste la migración del Bloque Santa Marta - Maracaibo hacia el Norte.

A finales del Mioceno, se produjo el levantamiento definitivo de la Cordillera de los Andes, en forma predominantemente vertical, y de la Sierra de Perijá, afectando el triángulo Oca - Boconó - Perijá el cual delimita la Cuenca del Lago de Maracaibo en su configuración actual. No hay indicios de compresión en el centro y Norte del Lago, como consecuencia de estos levantamientos (GONZÁLEZ de J. *et al.*, 1980).

Los Andes Venezolanos, vergentes al NW, emergieron como la principal estructura durante este intervalo de tiempo, y estuvieron probablemente asociados con un despegue mas profundo que el relacionado con el de Perijá (Audemard, 1991). Sustituyeron a Perijá como la mayor fuente de sedimentos y separaron al foredeep en distintas subcuencas: la cuenca de Maracaibo al Norte y la cuenca de Barinas - Apure al Sur (figura II.6).

Contemporáneo a la deformación de los Andes se evidencian dos fases de inversión que afectan las estructuras de Falcón transtensional, responsables de la configuración actual del anticlinorio del área.

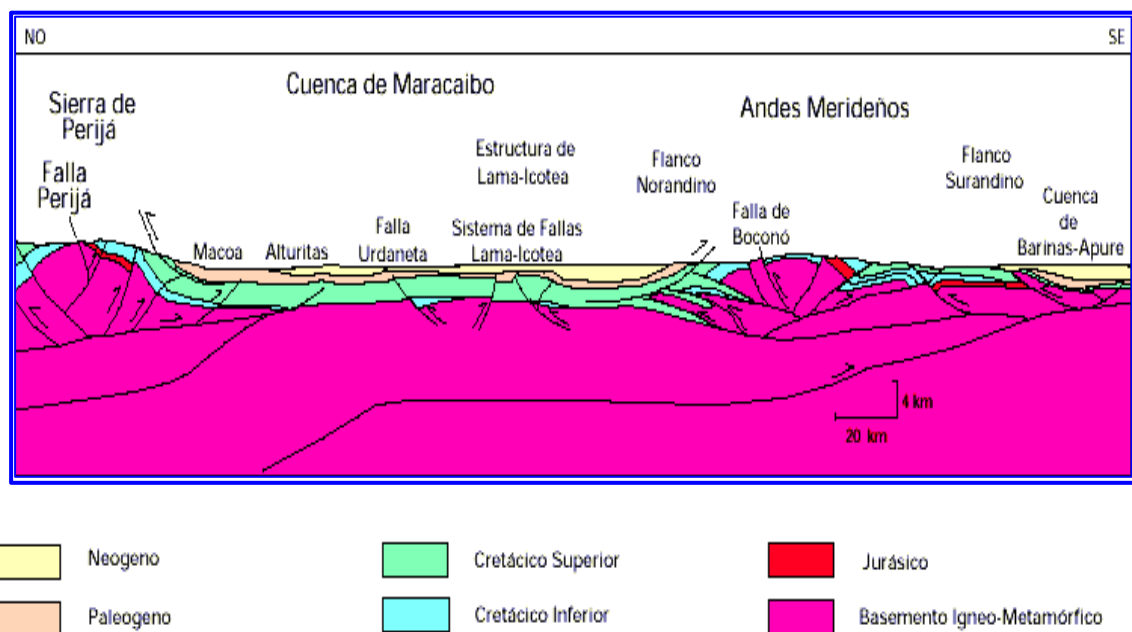


Figura II.6.- Corte estructural NW - SE a través de la Cuenca de Maracaibo, desde los Andes Merideños hasta la Serranía de Perijá. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.3.- ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.

El basamento de la Cuenca del Lago de Maracaibo está constituido principalmente por dos unidades estratigráficas (Lugo, 1991) las cuales son:

a) Los metasedimentos de la Formación Mucuchachí y equivalentes de edad Ordovícico, que subafloran a lo largo del Arco de Mérida.

b) Las capas rojas de la Formación La Quinta, de edad Jurásica, la cual se encuentra rellenando el sistema de grabens asociados a la apertura continental que comenzó en el Triásico.

A continuación se presenta un resumen de la estratigrafía de cada una de las formaciones presentes en la Cuenca del Lago de Maracaibo.

II.3.1.- Jurásico

II.3.1.1.- Formación La Quinta.

Schubert et. al. (1979), describen a la Formación La Quinta, como tres intervalos: uno inferior, compuesto por una capa de toba vítrea de color violeta, consistente con una secuencia, justo en el medio, interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolita y algunas capas delgadas de caliza, de color verde, y un intervalo superior, formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo.

Según su contenido fosilífero, la Formación La Quinta se considera de edad Jurásico (Schubert, 1986). Con base en las estructuras sedimentarias, litología y distribución de las rocas piroclásticas, se puede postular que la secuencia de limolitas se originó en una planicie aluvial, en los intervalos inferior y medio. La presencia de toba y conglomerado, indica levantamiento tectónico y una deposición de sedimentos mixtos, bajo un clima árido o semiárido.

Odreman y Ghosh (1980) concluyeron que la secuencia no-roja de la Formación La Quinta, se puede interpretar como un evento de progradación sedimentaria, con depósitos de laguna dulce en su parte inferior. Según este modelo, las capas rojas representan una facies marginal dentro de la cuenca.

Los contactos en la sección tipo de la Formación La Quinta cubre discordantemente a las filitas de la Formación Mucuchachí (Paleozoico Superior). El contacto con la Formación Río Negro (Cretáceo Inferior) es también discordante. En la Sierra de Perijá, el contacto inferior de la Formación La Quinta es transicional con la Formación Macoita (Jurásico) y el superior es discordante con el conglomerado de Seco (González de Juana et. al., 1980).

II.3.2.- Cretácico.

II.3.2.1.- Formación Río Negro.

Basándose en sus relaciones de campo, fauna y flora esta formación es considerada de edad Cretácico Inferior (Necomiense - Barrimiense). La litología presente son areniscas blancas, generalmente de grano grueso, conglomerados heterogéneos; arcillas y lutitas variables, típicamente en tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente sedimentaria, las areniscas varían desde muy cuarzosas a muy feldespáticas. El ambiente continental de esta formación es conocido por el carácter fluvial de sus sedimentos, el color rojo de algunos estratos, la ausencia de fósiles marinos y la presencia de restos de plantas; se deduce la presencia de ambientes marino-costeros, dada la transición a las calizas marinas de la Formación Apón.

II.3.2.2.- Grupo Cogollo.

Se denomina Grupo Cogollo a la secuencia donde la litofacies es predominantemente calcárea, de edad Aptiense-Albiense; Rod y Maync (1954) subdividen el Grupo Cogollo en tres formaciones que en orden ascendente se designan Apón, Lisure y Maraca.

II.3.2.2.1.- Formación Apón

Según Káiser (1997) la edad indicada por la flora y el contenido fosilífero es Aptiense – Albiense (Cretácico Inferior). Representa la unidad inferior del Grupo Cogollo; está subdividida (LEV, 1956) en tres miembros; para la plataforma de Maracaibo se designan con los nombres Tibú, Machiques y Guáimaras. La unidad mantiene en general sus características litológicas con ciertas variaciones locales. El Miembro Tibú se caracteriza por calizas bioclásticas de aguas llanas, sobre éstas se produce una sedimentación alternante euxínica y de aguas oxigenadas localizada en el Surco de Machiques, la cual caracteriza al Miembro Machiques; el Miembro Guáimaras se compone de lutitas grises pobres en mica, a veces dolomíticas y en ocasiones finamente arenosas.

II.3.2.2.2.- Formación Lisure.

Unidad media del Grupo Cogollo, de edad Cretácico Inferior, Albiense Medio a Superior. La formación se compone predominantemente de areniscas glauconíticas y calizas

arenosas, intercaladas con arcillas laminares arenosas y algunas capas de caliza conchífera. Esta Formación muestra variaciones de ambientes desde lagunas con bajos niveles de energía hasta ambientes con niveles de energía relativamente alta. Esta formación es la mayor productora de hidrocarburos de la sección Cretácica.

II.3.2.2.3.- Formación Maraca.

Se designa como Formación Maraca a las calizas coquinoideas de su parte superior y cuya edad se estima del Cretácico Inferior (Albiense Superior); básicamente son calizas cristalinas en capas gruesas, intercaladas con lutitas y margas. Hacia la base hay areniscas transicionales a la unidad infrayacente. León (1975) la considera facies de aguas llanas.

En las figuras II.7 y II.8 se presenta un cuadro de correlaciones y la distribución de facies sedimentarias durante el Cretácico Temprano de Venezuela.

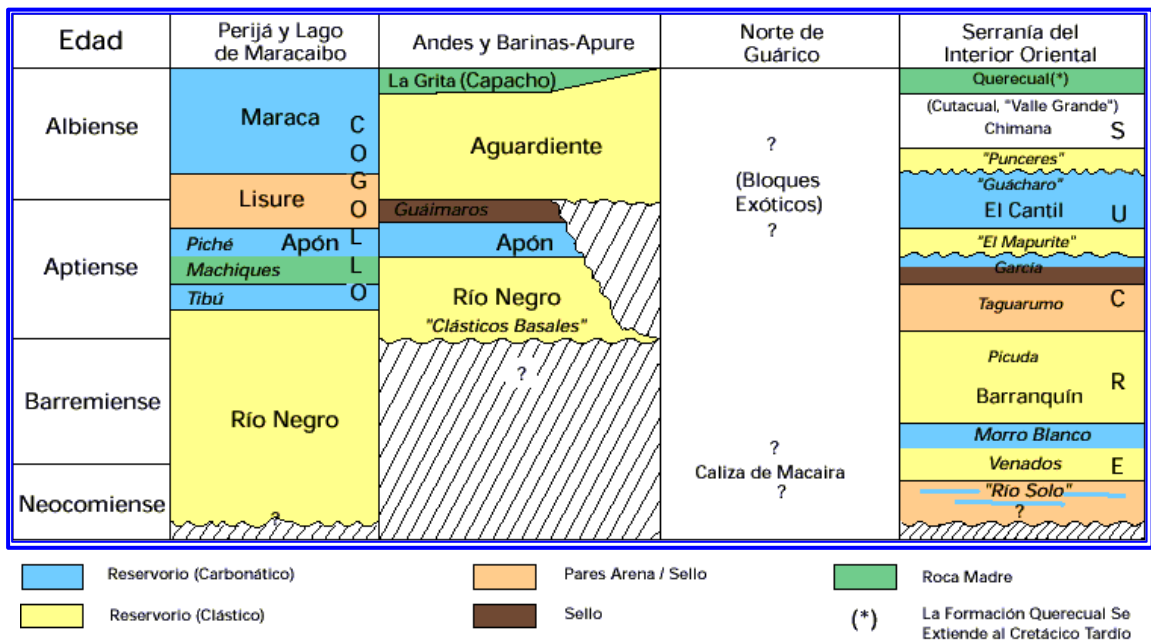


Figura II.7.- Cuadro de correlaciones de las unidades más importantes dentro del Cretácico Temprano de Venezuela. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

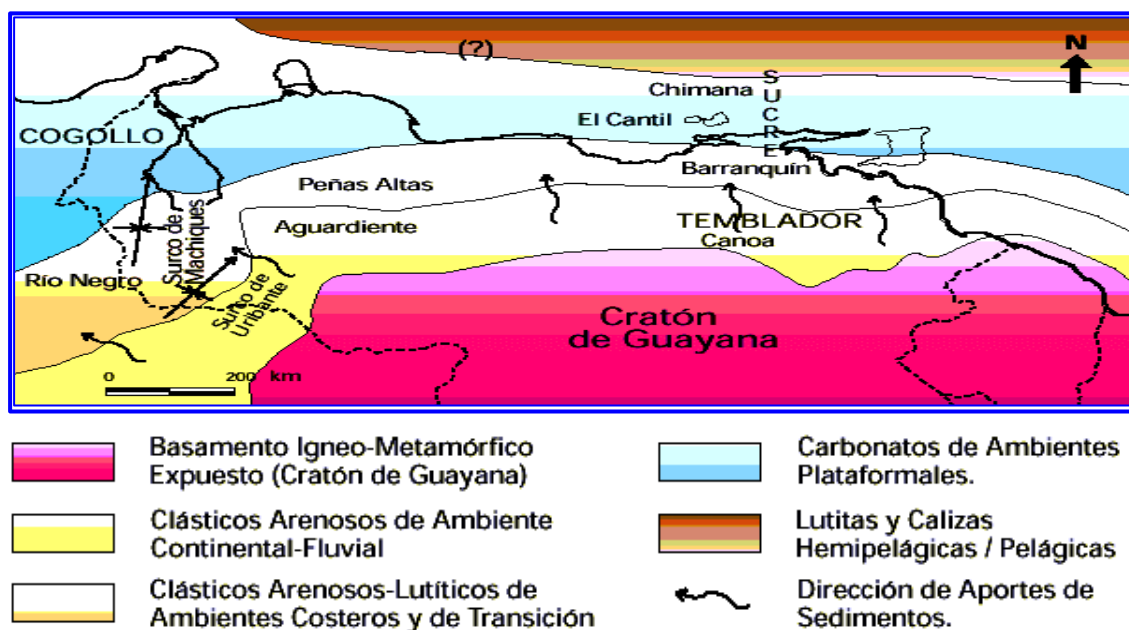


Figura II.8.- Distribución de facies sedimentarias durante Cretácico Temprano al norte del Cratón de Guayana. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.3.2.3.- Formación La Luna.

Unidad de edad Cretácica Superior (Cenomaniense - Campaniense), con una litología de calizas y lutitas calcáreas fértiles, con abundante materia orgánica laminada de color gris oscuro a negro. La Formación La Luna se sedimentó en un ambiente marino bajo condiciones de fondo euxínicas.

II.3.2.4.- Formación Colón.

Unidad caracterizada por lutitas microfósilíferas uniformes, oscuras y macizas, de edad Cretácico Superior (Campaniense a Maestrichtiense Temprano). Su base contiene un conspicuo intervalo glauconítico, designado como Miembro Tres Esquinas, localmente infrayacente a la caliza fosilífera del Miembro Socuy (región del Lago de Maracaibo). El ambiente de sedimentación se considera como marino abierto, con buena circulación de masas de agua.

II.3.2.4.1- Miembro Socuy.

Se designa a la caliza basal de la Formación Colón, de edad Cretácico Superior (Maestrichtiense Inferior o Campaniense Superior), de caliza margosa con foraminíferos, que suprayace al Miembro Tres Esquinas (glauconítico) e infrayace a las lutitas puras que constituyen la mayor parte de la Formación Colón.

II.3.2.5.- Formación Mito Juan.

La definición de esta unidad es dudosa, varios autores señalan la dificultad de separarla de la Formación Colón, por lo cual su diferenciación se ha basado parcialmente en criterios faunales. Su edad es Cretácico Superior (Maestrichtiense Superior), con una litología de lutitas oscuras, similares a la de la Formación Colón, interestratificadas con capas delgadas de areniscas, a veces glauconíticas y calizas. Representa una facie de aguas marinas poco profundas con intervalos salobres. En las figuras II.9 y II.10 se presenta un cuadro de correlaciones y la distribución de facies sedimentarias durante el Cretácico Tardío de Venezuela.

Edad	Perijá y Lago Maracaibo	Flanco Norandino	Flanco Surandino	Norte de Guárico	Flanco Sur de la Cuenca Oriental	Serranía del Interior Oriental	
Maastrichtiense	Mito Juan	Mito Juan		Guárico	Infante	Vidono San Juan	
Campaniense	Colón	Colón	Burgúita	G U A Y U T A (Mucaria, San Antonio "Rio Chávez", Querecual, "Querecual del Norte")	Tigre	G U A Y U T A San Antonio	
	Socuy	Tres Esquinas	Quevedo				
Santonense	La Luna	La Luna	Navay	A ? "Bloques Exóticos" ?	GRUPO TEMBLADOR	Y U T A Querecual	
Coniaciense			Guayacán				Guayacán / Caliza "O"
Turonense			Capacho				Escandalosa
Cenomaniense	(¿Hiatus regional en la base?)	Seboruco		?	Canoa		

Figura II.9.- Cuadro de correlaciones de las formaciones más importantes dentro del Cretácico Tardío de Venezuela. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

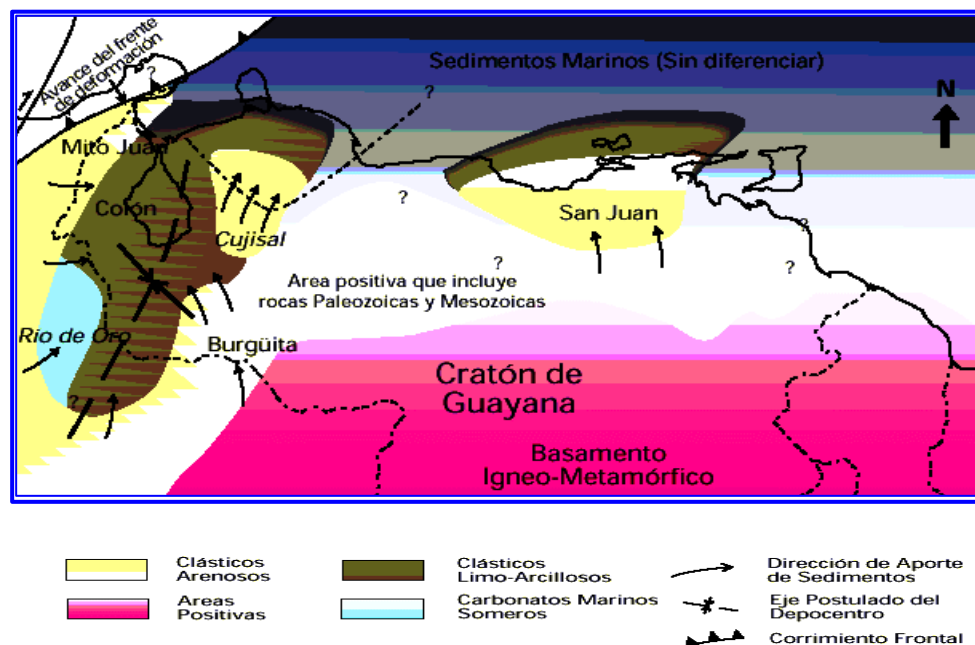


Figura II.10.- Distribución de facies sedimentarias durante el Cretácico Tardío al norte del Cratón de Guayana. Tomado de Conferencia sobre Evaluación de Pozos. (Schlumberger, 1997).

II.3.3.- Paleoceno.

II.3.3.1.- Formación Guasare.

La Formación Guasare es considerada de edad Terciario (Paleoceno Inferior), se caracteriza por sus capas de calizas fosilíferas y areniscas calcáreas, intercaladas con areniscas de grano fino y estratificación delgada y lutitas localmente glauconíticas o carbonáceas. Dicha formación representa la sedimentación de plataforma, desarrollada en la porción central de la Cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno. Su litología y contenido fosilífero, corresponden a un ambiente marino nerítico, el cual estuvo sujeto a influencias de tipo deltaico.

II.3.4.- Eoceno.

II.3.4.1.- Formación Misoa.

Basándose en evidencias palinológicas (Kuyl *et al.* 1956) señalaron una edad Eoceno Inferior a medio. La litología básicamente está compuesta de areniscas, limolitas y lutitas intercaladas, con algunas capas de calizas en la parte inferior. Esta formación representa distintos tipos de ambientes que abarcan desde un complejo deltaico en el cual se reconocen llanuras deltaicas, canales distributarios y el frente deltaico, hasta un ambiente marino abierto.

II.3.5.- Oligoceno.

II.3.5.1.- Formación Icotea.

Por su posición estratigráfica, la formación ha sido asignada al Oligoceno, aunque no se descarta una edad Mioceno Inferior, consistente de limolitas y arcilitas, con capas ocasionales de lutita y arenisca. Sutton (1946) señala un posible origen eólico con acumulaciones en lagos remanentes y, posterior erosión y lixiviación prolongada.

II.3.6.- Mioceno.

II.3.6.1.- Formación La Rosa.

Las características litológicas de los miembros de La Rosa (Mioceno Temprano) son:

- a) Miembro Santa Bárbara: está formado por areniscas arcillosas poco consolidadas, grises a marrones, que localmente pueden alcanzar espesores bastantes grandes, lutitas gris verdoso interlaminadas con areniscas.

- b) Lutita La Rosa: lutitas grises a verdosas con intercalaciones de areniscas delgadas fosilíferas.
- c) Arena intermedia: arenas arcillosas en capas delgadas con lutitas verdes fosilíferas y arcilitas arenosas.
- d) Arena La Rosa: areniscas friables, macizas de grano fino, gris a marrón y lutitas gris verdoso con moluscos y foraminíferos.

El miembro Santa Bárbara representa la primera etapa de la invasión marina. Los sedimentos son indicativos de aguas profundas. La lutita La Rosa, corresponde a la máxima extensión de la transgresión de un mar poco profundo. La arena intermedia y la arena La Rosa representan depósitos de barra de desembocadura y barra de playa. Hacia el tope, los depósitos presentan mayor influencia deltaica.

II.3.6.2.- Formación Lagunillas.

Unidad considerada de edad Terciario (Mioceno), comprende en conjunto lutitas, arcillas, areniscas mal consolidadas y algunos lignitos interestratificados. El ambiente de la parte inferior de la Formación Lagunillas fue marino regresivo oscilante con condiciones salobres dominantes; el ambiente de la parte superior estuvo aparentemente libre de influencias marinas y representa facies continentales. Comprende los Miembros de Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero.

La parte inferior es denominada Miembro Lagunillas Inferior, la cual contiene arenas petrolíferas importantes intercaladas con arcillas y lutitas carbonosas abigarradas. El Miembro Laguna consiste en lutitas grises fosilíferas y lutitas arenosas que representan una breve incursión de aguas marinas normales. La mitad superior es denominada Miembro Bachaquero, compuesta de intercalaciones de arcillas, lutitas arenosas y areniscas pobremente consolidadas, con capas ocasionales de lignitos.

II.3.6.3.- Formación La Puerta.

Sutton (1946) describió la Formación La Puerta (Mioceno Superior) como arcilitas abigarradas, limolitas pardas y areniscas macizas. Por su parte Young (1960), la subdividió en tres miembros que denominó Poro, Playa y Timoteo, en secuencia ascendente. El inferior consiste de arcillas abigarradas, el intermedio, de arenas grises, subgrauvacas y arcillas, y el superior, de arcillas rojas.

II.3.7.- Plioceno - Pleistoceno.

II.3.7.1.- Formación Onia.

Es importante resaltar que la Formación Onia de edad Plioceno – Pleistoceno, es una unidad informal la cual consiste, principalmente, de areniscas y limolitas abigarradas, gris verdoso, de grano grueso a fino, arcillosas, micáceas y friables.

II.3.7.2.- Formación El Milagro.

Por su posición estratigráfica, se sugiere una edad Pleistoceno para estos sedimentos, con posible extensión al Plioceno. Esta formación consiste de arenas friables, finas a gruesas, muy micáceas, limos micáceos, interestratificados con arcillas arenosas y lentes lateríticos bien cementados. Hay dos capas de arcillas arenosas y limosas, con abundantes fragmentos y troncos madera silicificada. Sutton (1946) considera estos sedimentos de aguas dulces llanas. Kerez y San Juan (1961) consideran que el ambiente es fluvio deltaico y lacustrino marginal.

La figura II.11.- presenta la columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo.

II.4.- GEOLOGÍA LOCAL.

II.4.1- Características estructurales.

El rasgo estructural más importante en el área estudiada lo constituye la Falla Icotea, de rumbo NNE-SSO, la cual divide al área en dos grandes bloques: Un graben en el flanco Oeste y un horst en el flanco Este. El buzamiento de la falla, orientado hacia el Oeste en la parte septentrional y central del área, cambia hacia el Este en la parte Sur del campo. Este cambio ocurre en su intersección con la Falla VLE-400 con la cual forma una depresión profunda.

La Falla VLE-400, situada al Sur del bloque IX, presenta un rumbo NO-SE pero, en su extremo Norte, se desvía hacia el Oeste hasta lograr su convergencia con la Falla Icotea. A nivel Cretácico, la falla presenta un ángulo alto; mientras que a nivel Eoceno, se desarrolla una falla lítrica.

Un grupo de fallas inversas antitéticas y sintéticas acompañan a Icotea. En el flanco Oeste se destacan dos fallas antitéticas prácticamente paralelas a la Falla Icotea. Una está situada inmediatamente al Oeste y forma con la Falla Icotea bloques en forma de cuña que, por lo general, encierran estructuras anticlinales, a menudo levantadas por la compresión (“pop-up”).

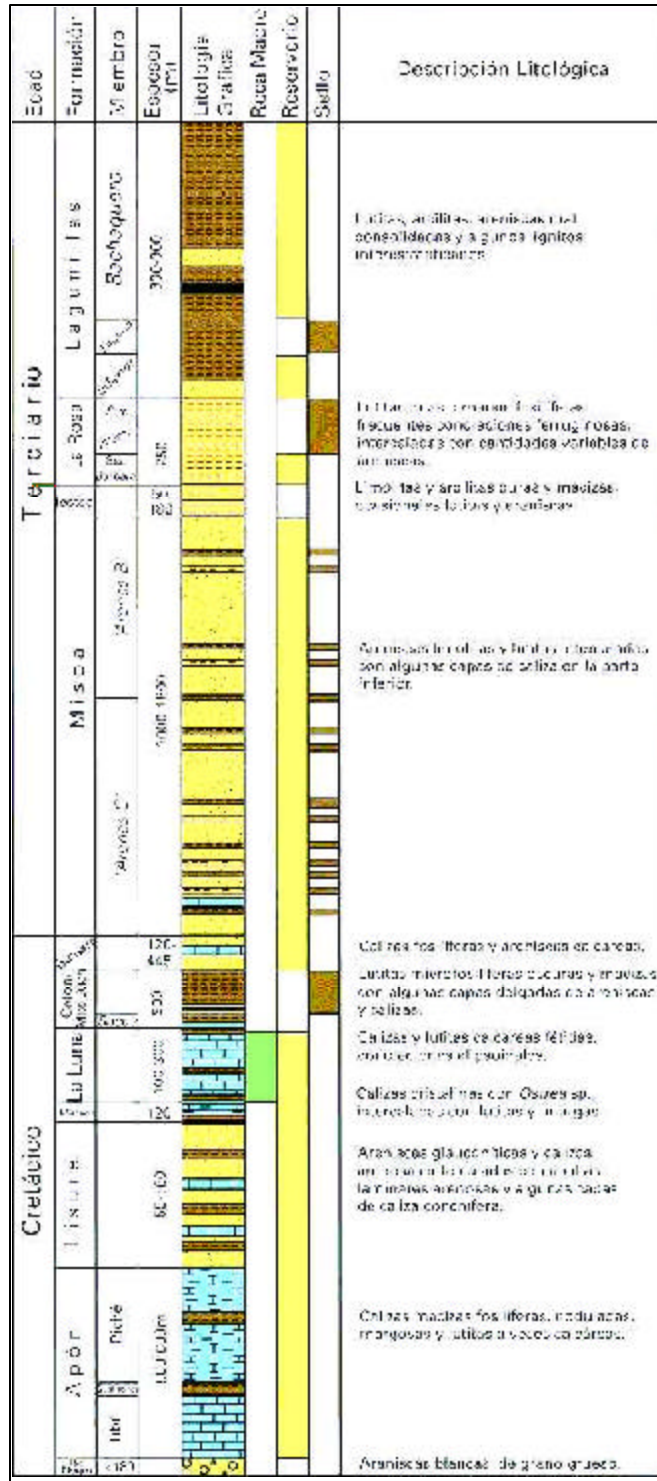


Figura II.11.- Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo (Parnaud et.al. 1995, González de Juana et.al., 1989).

En realidad esta falla antitética no es una sola falla continua, sino más bien, varias fallas inversas adosadas unas junto a las otras, formando un solo frente, aunque pudiendo estar ausentes en algún tramo. Al Oeste de la Falla Icotea, se encuentra otra falla antitética, la misma es distal y está situada a unos 5 Km.; se trata de varias fallas que forman un solo frente, estando ausentes en varios tramos, particularmente en la parte central del área. La falla Icotea y su antitética encierran entre ambas una estructura monoclinial de alto buzamiento.

Las fallas sintéticas son también inversas y están situadas en el “horst” junto a la Falla Icotea. El “horst” está además densamente cortado por fallas normales de rumbo predominantemente Este – Oeste. Las fallas del “horst” ubicadas al Norte del área buzán en su mayoría hacia el Norte, mientras que las fallas del Sur buzán hacia el Sur.

Las fallas normales tienen la apariencia de una sola falla de varios Kms. de longitud. No obstante, se trata en realidad de varias fallas arqueadas en forma de media luna, cóncavas en dirección del desplazamiento y adosadas unas a otras formando un solo frente.

Los bloques cuneiformes que forman estructuras elevadas a lo largo del alineamiento de Icotea, están cortados por un sistema de cizallamientos conjugados, de rumbo NE-SO y NO-SE.

II.4.2.- Estratigrafía.

La columna estratigráfica del área presenta por encima del basamento el complejo volcánico-sedimentario de las Formaciones La Quinta, de edad Jurásico. Los sedimentos del Cretácico descansan discordantemente sobre el Jurásico y comienzan con las areniscas basales de la Formación Río Negro, seguidas concordantemente por los sedimentos, mayormente carbonáticos, del Grupo Cogollo del Cretácico Inferior medio. Este grupo se subdivide en las Formaciones Apón, Lisure y Maraca, las cuales constituyen la roca yacimiento.

En el Lago, la Formación Apón se divide, en los miembros Tibú, Guáimaro y Piché, siendo el Miembro Guáimaro el equivalente lateral del Miembro Machiques en la zona de Perijá. Transicionalmente, estos sedimentos carbonáticos del Grupo Cogollo pasan a las calizas orgánicas generadoras de hidrocarburos de la Formación La Luna de edad Cretácico Medio. Le suprayacen a esta última formación las calizas del miembro Socuy y la secuencia sello, de la Formación Colón del Cretácico Superior (figura II.12).

EDAD	GRUPO	FORMACIÓN	MIEMBRO
CRETÁCICO		MITO JUAN/ COLÓN	SOCUY
		LA LUNA	
	COGOLLO	MARACA	
		LISURE	
		APÓN	PICHÉ
			GUÁIMAROS
			TIBÚ
		RÍO NEGRO	

Figura II.12.- Columna estratigráfica del Cretácico. Bloques IX y XIV del Lago de Maracaibo

III.- MARCO TEÓRICO.

III.1.- SÍSMICA 3D

Los métodos sísmicos consisten en generar ondas sísmicas, utilizando fuentes tales como explosivos, vibradores, etc. , y en medir el tiempo transcurrido desde la generación de la onda hasta que ésta es recibida por los sensores en la superficie. El tiempo de recorrido depende de las propiedades físicas de las rocas y de las disposiciones de éstas en el subsuelo. El objetivo de los métodos sísmicos es, pues, el de reconstruir la disposición de las rocas en el subsuelo (estructural) y sus características físicas (litología, fluidos, etc.) a partir de la información grabada, esto es, de los tiempos de recorrido, las amplitudes, cambios de fase y frecuencia, etc.

La prospección sísmica consta de tres etapas: la adquisición de datos, el procesamiento y la interpretación de los mismos.

La adquisición de datos 3D tiene como principio obtener una cobertura homogénea del subsuelo en todo el volumen deseado (figura III.1).

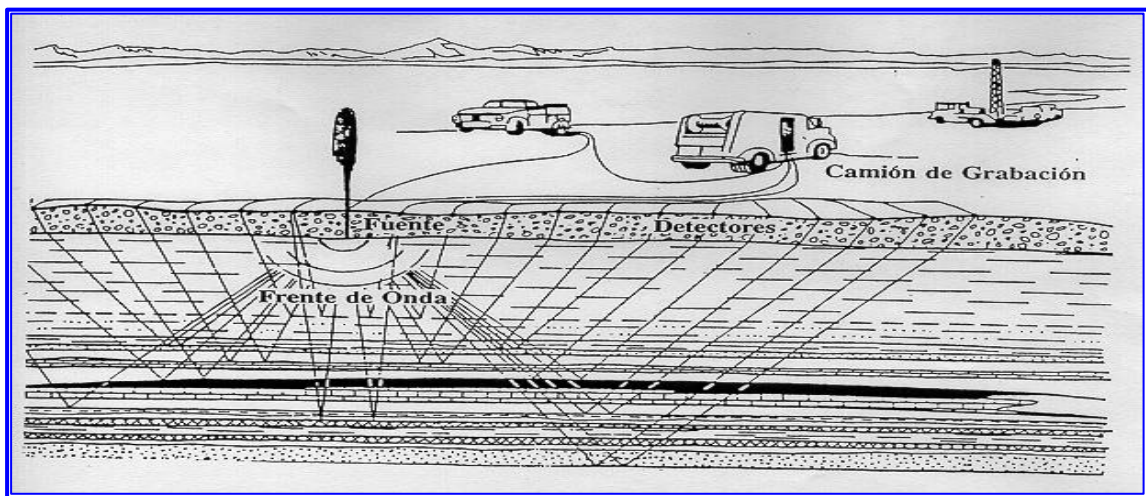


Figura III.1.- Geometría de adquisición sísmica

El procesamiento de datos tiene como meta la de transformar las observaciones sísmicas de campo en un modelo del subsuelo sobre el cual se puedan tomar decisiones de exploración y/o producción. Es por ello que la sección final debe estar libre de ruido y debe mostrar reflexiones claras e interpretables. Para esto, durante el procesamiento se aplican filtros que eliminan ruidos, funciones de ganancias para recuperar la información perdida por la atenuación de la onda y demás procesos matemáticos que contribuyen a mejorar la calidad de los datos adquiridos.

Además, durante el procesamiento, el analista también trata de evaluar otros parámetros, tales como la velocidad, amplitudes y formas de onda (fase), que ayuden en la interpretación final de los datos.

III.2.- INTERPRETACIÓN SÍSMICA 3D

El propósito principal de la mayoría de los levantamientos sísmicos, es el de determinar la estructura geológica del área bajo estudio. Esto se logra trazando eventos sísmicos, identificables en las secciones, y realizando mapas en tiempo de éstos.

El trabajo de la interpretación sísmica se basa en dos aspectos principales:

a.- Continuidad: propiedad por la cual un evento o pulso sísmico puede ser reconocido en trazas sucesivas. Estos pulsos repetidos crean alineaciones, las cuales dan la característica de continuidad a lo largo de las secciones sísmicas

b.- Correlación: puramente reconocimiento de patrones. El patrón puede ser un pulso simple, el cual se distingue por su longitud, amplitud o forma. La correlación se usa principalmente para relacionar un área de confianza con otra. La correlación sísmica depende de las características de las reflexiones. Una es la forma de los pulsos individuales que conforman la secuencia de reflexiones. La otra es la secuencia de reflexiones mismas y su espaciamiento. El proceso de correlación matemática se utiliza en algunos casos donde la relación señal-ruido es muy pobre.

III.2.1.- Procesos de interpretación:

Se escoge un reflector en una zona donde puede definirse su continuidad, este se sigue a lo largo de toda la sección. Al perderse la continuidad se deja el espacio sin interpretar, continuando su seguimiento en áreas donde por medio de la correlación podamos identificar de nuevo el mismo evento.

Normalmente, la identificación de una reflexión sísmica requiere de dos nombres geológicos: el de la formación de arriba del contacto y el de abajo. 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 bajo estudio. Esto implica que existen cruces entre líneas. 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.

Las secciones sísmicas se grafican en tiempo. Por esta razón los mapas generados directamente de ellas representan mapas estructurales en tiempo.

La generación de estos mapas es relativamente sencilla y se basa en la graficación de los valores de tiempo leídos, al nivel de los reflectores de interés, en función de su ubicación en la superficie de la tierra, y su posterior interpretación para generar curvas de isotiempo representativas de la estructura.

Cualquier discontinuidad presente en las líneas (fallas, plegamientos, etc.) debe ser ubicada y correlacionada con discontinuidades similares en líneas cercanas, para, de esta manera, definir su rumbo. Este proceso de correlación de fallas no es un proceso trivial, sobre todo en zonas con complejidad geológica. La experiencia y la posibilidad de existencia, basándose en conocimientos geológicos, son las bases para una buena interpretación en tales circunstancias.

Aun cuando los datos sísmicos se presentan en tiempo, el geólogo prefiere ver la imagen del subsuelo en su dimensión real: profundidad. Para esto, es necesario conocer la velocidad promedio hasta el evento de interés.

Existen varios métodos para obtener una aproximación de la velocidad promedio. Uno es el de utilizar tiros de verificación, los cuales dan curvas de velocidad promedio en función de profundidad. Este tipo de medida es puntual, pudiéndose generar mapas de distribución de velocidades si se cuenta con una buena red de pozos en el área.

Otro método, tal vez el más usado, consiste en calcular velocidades interválicas a partir de las velocidades de apilamiento y luego, convertir éstas a velocidades promedio utilizando la relación:

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Ii} * D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

Donde:

V_p : Velocidad promedio

V_I : Velocidad interválica

t: tiempo

III.3.- TIROS DE VERIFICACIÓN O CHECK-SHOTS

Los perfiles de verificación sísmica o registros de velocidad, consisten en medir el tiempo de viaje de las ondas generadas en superficie, a distintas profundidades dentro del pozo. La geometría de adquisición es relativamente sencilla, como se observa en la figura III.2.

Como resultado de este procedimiento, se obtiene una curva tiempo-profundidad con la que se puede correlacionar la información sísmica con la información de pozos, lo que conlleva a una calibración de la información geológica de los pozos perforados, con la información sísmica, en el área donde fue tomado este registro.

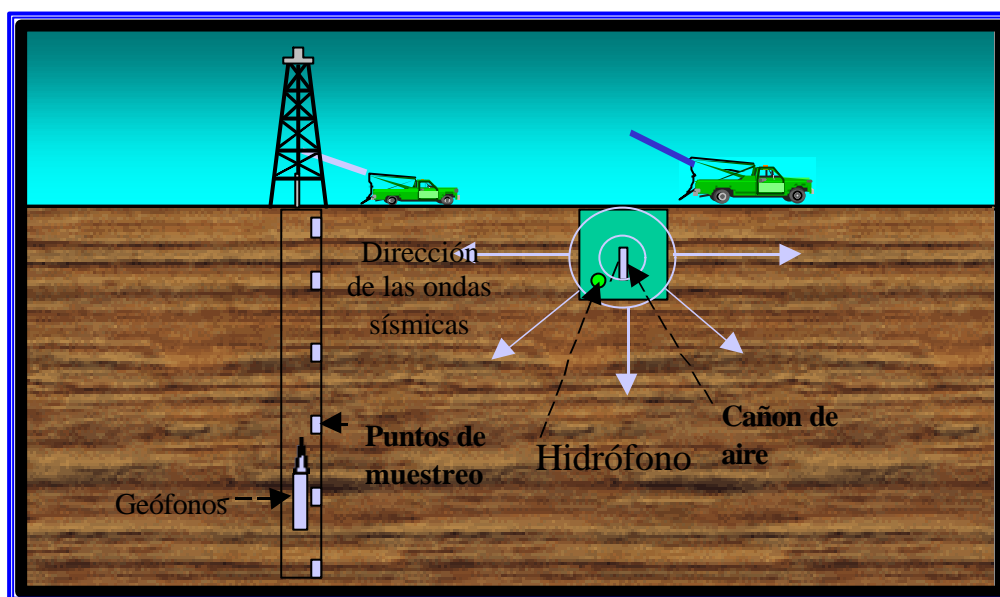


Figura III.2.- Geometría de adquisición de tiros de verificación sísmica

III.4.- SISMOGRAMAS SINTÉTICOS

El sismograma sintético consiste en la fabricación artificial de una traza comparable a la registrada en el terreno, a partir de los registros de velocidad (Sónico) y de densidad en la zona de interés. Correlacionar la impedancia acústica (velocidad * densidad) en los pozos con los datos sísmicos, facilita la extracción de la ondícula y sus propiedades (frecuencia y fase), a partir de las trazas sísmicas.

III.4.1.- Procedimiento para la elaboración del sismograma sintético:

1.- Convertir las curvas registradas en profundidad a una escala vertical en tiempo. Esto se puede hacer directamente si se dispone de una curva tiempo - profundidad (T-Z) obtenida con la herramienta de referencia sísmica, también denominada como Check - Shots, o en su defecto se puede generar del registro sónico, ya que este proporciona tiempos de

transito por pie, intervalos de muestreo de 1 pie suficiente para poseer una resolución. Después de integrado el sónico y obtenida la curva (T-Z), se puede adecuar la curva de densidad en tiempo, así como también otra curva de interés tales como las curvas de Gamma Ray y Caliper. Existen métodos de calibración para el ajuste de la curva T-Z a partir del tiempo de transito (Sónico), lo que resulta en una modificación en amplitudes del sónico. Estas calibraciones se hacen cuando se requiere hacer ajustes por WST.

2.- Calcular el coeficiente de reflexión. Se supone incidencia normal (A.Peterson et al., 1995) donde no se producen ondas transversales, deduciéndose, de ella el siguiente valor para el coeficiente de reflexión (Exploration Geophysics, Jakosky,1957). Ver figura III.3 sobre incidencia normal.

El coeficiente de reflexión se obtiene a partir de la impedancia acústica la cual es el producto de la velocidad por la densidad. Para obtener la impedancia, el software multiplica el inverso del tiempo de tránsito del sónico por la densidad. Una vez obtenida la impedancia acústica, se calcularon los coeficientes de reflexión (R):

$$R(t) = \frac{(I_2 - I_1)}{(I_2 + I_1)} = \frac{(V_2 \rho_2 - V_1 \rho_1)}{(V_2 \rho_2 + V_1 \rho_1)}$$

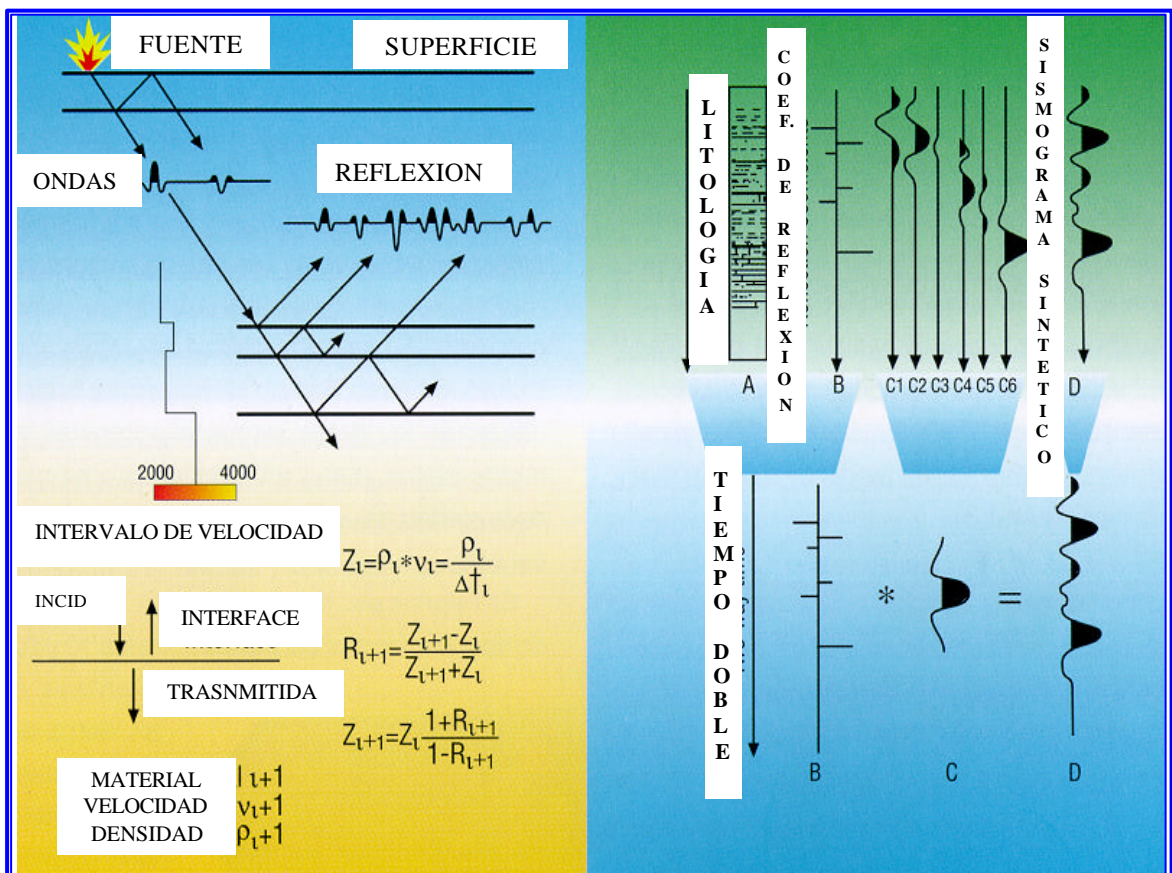


Figura III.3.- Esquema del recorrido de las ondas, ecuaciones, interfase, litología, coeficientes y sismograma idealizado (Lacruz, 2000).

3.- Por último el sismograma se calcula con la convolución entre el coeficiente de reflexión y la ondícula fuente, los cuales permitirán generar el sismograma comparable con el registrado en las trazas sísmicas.

$$\text{Sismograma} = R * \text{Ondícula Fuente}$$

Donde:

R: Coeficiente de reflexión.

III.5.- ATRIBUTOS SÍSMICOS

Los atributos sísmicos son medidas específicas, geométricas, cinemáticas, dinámicas o rasgos estadísticos derivados de los datos sísmicos. Algunos son más sensitivos que otros a tópicos específicos de yacimientos; otros, sin embargo, son mejores revelando anomalías del subsuelo y algunos han sido usados como indicadores de hidrocarburos.

Denota cualquier información, que se extraiga de datos sísmicos, que puede ayudar directa o indirectamente a la exploración de hidrocarburos.

Existen “atributos” que reflejan fenómenos físicos explicables (amplitudes, tiempo de tránsito, etc.), mientras que otros no pueden ser definidos como procesos físicos aceptables (promedio de la frecuencia instantánea, amplitudes combinadas de varios eventos, etc.) y/o procesos de presentación gráfica de la información (“time slice”, “horizon slice”, etc.).

En la práctica se analizan ambos tipos, buscando una correlación entre ellos y las propiedades petrofísicas estimadas de registros de pozos.

Los atributos sísmicos fueron introducidos en los años 70 como herramientas útiles de despliegue para ayudar a interpretar los datos sísmicos de una manera cualitativa.

La traza sísmica convencional puede ser tratada como una señal analítica con partes real e imaginaria (Taner y Sheriff, 1979). Sólo la parte real es detectada y representada, mientras que la parte imaginaria es la transformada de Hilbert de la parte real. Una traza sísmica compleja puede ser descrita como un fasor dependiente del tiempo. Bajo este concepto se puede expresar a la traza sísmica observada, $f(t)$, como:

$$f(t)=R(t) \cos \theta (t)$$

Donde:

$R(t)$ es la envolvente de la traza sísmica (curva de baja frecuencia obtenida a través de suavizar picos adyacentes de amplitud); y $\theta (t)$ es la fase.

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

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

$$h(t)=R(t) \operatorname{sen}\theta (t)$$

La traza compleja $F(t)$ puede ser visualizada como la traza en el espacio complejo, de un vector que está rotando y cambiando continuamente su longitud. Ella permite la separación única de la amplitud envolvente, la fase y el cálculo de la frecuencia instantánea, las cuales pueden ser desplegadas a color para ayudar al intérprete en la búsqueda de cambios laterales (Taner y Sheriff, 1979).

III.5.1.- Clasificación de los atributos sísmicos

Existen dos grandes categorías generales:

Atributos Geométricos o Configuraciones de la Reflexión

Atributos Físicos o Características de la Reflexión

Atributos Geométricos: Calculados a partir de la configuración y continuidad de la reflexión. Se utilizan en la interpretación estructural y estratigráfica con el objetivo de resaltar las características geométricas de los eventos sísmicos.

Atributos Físicos: Atributos calculados a través de trazas complejas, fases y otros que corresponden a las diversas medidas del frente de onda propagante. Permiten la predicción o extrapolación de características litológicas o de yacimiento.

Los atributos físicos se clasifican:

Según el Tipo de Datos:

Pre - Apilamiento

Post – Apilamiento

Según el Tipo de Proceso:

Instantáneos

Interválicos

Multitrazas

Azimutales

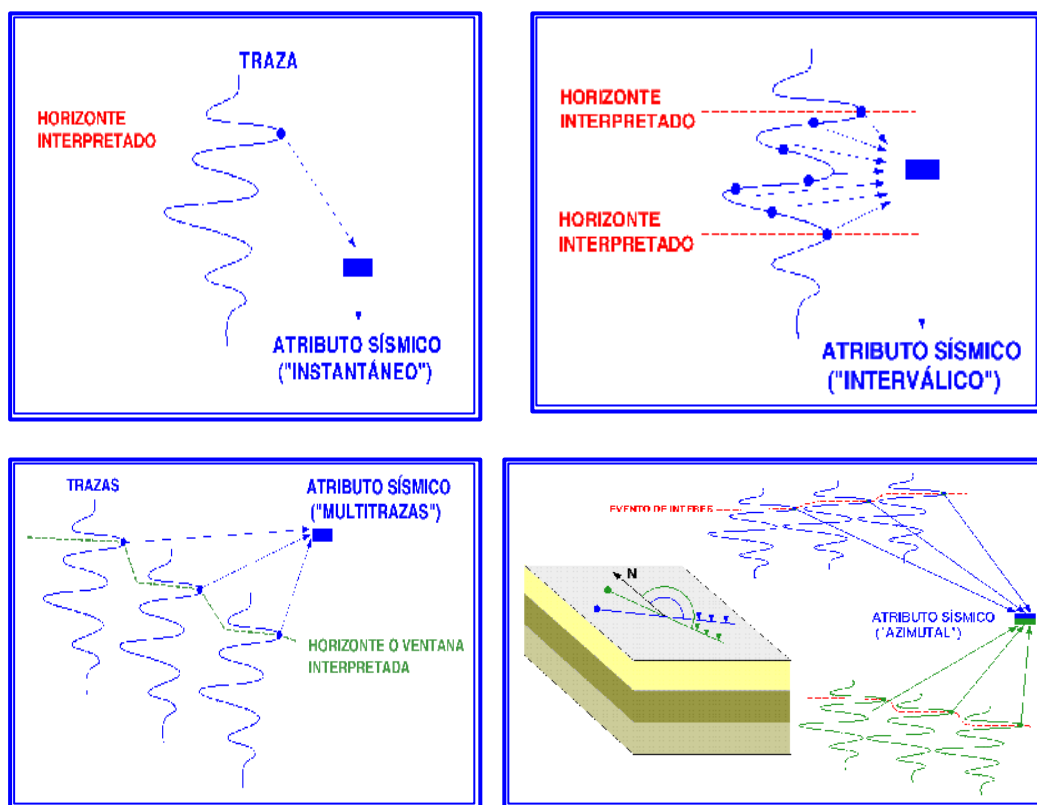


Figura III.4.- Atributos sísmicos según el tipo de procesos

Atributos extraídos de la data sísmica y asociados con una superficie, son aquellos que proveen información acerca de cómo varían en o entre límites geológicos. Para ello los podemos clasificar en tres métodos de extracción: instantáneos, acotados a una traza sencilla y los acotados a multitrazas.

Los instantáneos son aquellos derivados del análisis de la traza compleja de la data sísmica en la posición del evento.

Los eventos de atributos acotados a una traza sencilla son extraídos para ventanas variables, ya sea en su longitud o posición sobre la traza sísmica. Cuando nos movemos de una traza a otra, los límites son definidos por eventos sísmicos interpretados.

Los eventos de atributos acotados en multitrazas son también asociados a ventanas variables.

III.5.2.- Atributos derivados de la traza sísmica

Los siguientes atributos son derivados directamente de la traza sísmica compleja:

Amplitud Sísmica	Frecuencia Instantánea	Coseno de la Fase
Cuadratura de la Amplitud	Polaridad Apparente	Fase Instantánea
Intensidad de la Reflexión	Atributos de Respuesta	Derivadas de la Amplitud Sísmica

Amplitud sísmica:

Esta función lee el valor de la amplitud de la traza a un horizonte en tiempo o profundidad. El cálculo del atributo es hecho en el horizonte interpretado, a un tiempo fijo o ajustando el horizonte a un evento (pico, valle, corte en amplitud). Este atributo se usa para identificar bright spots/dim spots.

Cuadratura de la Amplitud:

Representa la parte imaginaria de la traza sísmica compleja y es encontrada usando la transformada de Hilbert sobre la traza real. Se aplica para identificar bright spots y en análisis AVO.

Intensidad de la Reflexión:

La amplitud de la traza compleja $F(t)$ es conocida como la intensidad de la reflexión o también como la función envolvente. Este atributo es regularmente usado para identificar bright spots / dim spots / flat spots u otros cambios laterales de litología, contenido de fluidos o cambios estratigráficos.

Fase Instantánea:

Es definida como la fase de la traza compleja. Es independiente de la intensidad de la reflexión y, por lo tanto, puede resaltar la continuidad de un evento, si la señal es muy ruidosa. Se usa para mostrar patrones depositacionales: acuñamientos, discordancias angulares, zonas de engrosamiento y afinamiento, offlap, onlap, difracciones, y la interferencia de eventos con diferente buzamiento.

Frecuencia Instantánea:

Es definida como la tasa de cambio de la fase instantánea. Es calculada como la derivada de la función arcotangente y es un número que describe que rápidamente la fase de la traza compleja cambia. Es usada para resaltar eventos débiles y en la estimación del factor de atenuación sísmica, cuando los yacimientos de hidrocarburos causan una caída de las componentes de alta frecuencia.

Polaridad Aparente:

Es el signo de la traza sísmica cuando la intensidad de la reflexión tiene su valor máximo (+1 ó -1). En otras palabras, es la polaridad de la reflexión (+1 ó -1) multiplicada por la intensidad de la reflexión. Se usa en la evaluación de bright spots debido a que responde proporcionalmente a la impedancia acústica.

Atributos de Respuesta:

Son definidos como los atributos de traza compleja donde la intensidad de la reflexión tiene un máximo local, y son asignados a todo el intervalo de datos entre dos mínimos adyacentes. Se aplican los atributos de respuesta como una forma alternativa para mostrar los atributos instantáneos.

Coseno de la Fase:

Es simplemente el coseno de la fase instantánea. Regularmente es más usada debido a que su expresión gráfica es mucho más fácil de interpretar, porque su rango de variación va de -1 a 1

Derivadas de la Amplitud Sísmica:

La primera derivada calcula la pendiente de la tangente de la amplitud sísmica seleccionada.

La segunda derivada mide la variación en las tangentes de las amplitudes sísmicas seleccionadas, directamente por encima y por debajo del horizonte interpretado.

III.5.3.-Tipos de mapas de atributos:

Basados en Superficie: éstos provienen de la información de los datos sísmicos en o cerca del horizonte interpretado. Por ejemplo, un mapa de amplitud, el cual muestra variaciones en la amplitud a lo largo de una superficie particular.

Basados en Volumen: estos mapas describen cambios dentro de un intervalo específico. El intervalo puede ser definido como una ventana de tiempo alrededor del horizonte o como un intervalo entre dos horizontes.

Basados en el Grid: éstos incluyen mapas de buzamiento (dip), mapas de curvatura y de iluminación artificial. Todos estos mapas están basados en el grid y son independientes de los datos sísmicos.

Gran variedad de mapas de atributos sísmicos se pueden calcular sobre una superficie / volumen o basados en el grid:

Basados en superficie / volumen:

Amplitud

Cuadratura de la Amplitud

Intensidad de la Reflexión

Frecuencia Instantánea

Polaridad Aparente

Basados en el grid:

Curvatura

Buzamiento

Iluminación

Coseno de la Fase

Respuesta de la Intensidad

Respuesta de la Frecuencia

Respuesta de la Fase

Primera Derivada de la Amplitud

Segunda Derivada de la Amplitud

La clave para darle sentido a un mapa es usar una barra de colores, que permita identificar la tendencia (ejemplo: Rumbo y Buzamiento) en los datos. Esta escala incluye cuatro bandas de color, cada una de las cuales corresponde a uno de los cuadrantes de la escala de azimut (figura III.5).

Al observar un mapa de Dip – Azimut, se pueden identificar las direcciones primarias de buzamiento, según las posiciones cardinales que se muestran en el círculo de la barra de colores.

El color rojo representa el Norte, el amarillo representa el Este, el verde representa el Sur y por último el azul que representa el Oeste.

Los colores yuxtapuestos sobre el mapa indican tendencias de direcciones:

Rojo	Amarillo:	indica buzamiento al Noreste
Rojo	Azul:	indica buzamiento al Noroeste
Verde	Amarillo:	indica buzamiento al Sureste
Verde	Azul:	indica buzamiento al Suroeste

Mientras los colores en la barra Dip-Azimut representan los valores de azimut, la intensidad del color indica el ángulo de buzamiento. Cada una de las cuatro bandas de color abarca 16 de los 64 incrementos en la escala de la barra de color. Cuando la barra de colores es aplicada a un mapa Dip – Azimut, los colores intensos representan buzamiento bajo, mientras que los colores oscuros representan buzamientos más fuertes.

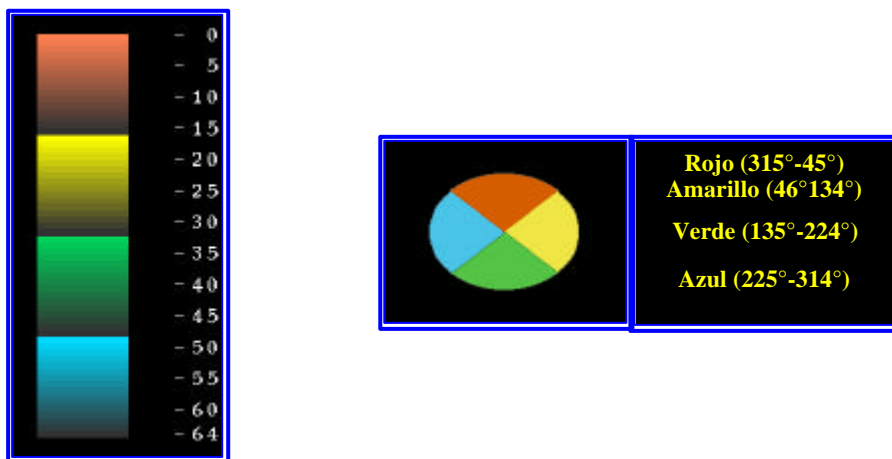


Figura III.5.- Barra de colores que permite identificar la tendencia en los datos.

IV.- INTERPRETACIÓN SÍSMICA.

IV.1 INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

Para realizar la interpretación sísmica estructural 3D del Cretáceo en los bloques IX y XIV del Lago de Maracaibo, se siguió la metodología de trabajo que se describe a continuación (Ver figura IV.1):

IV.1.1.- Recopilación de la información

Se realizó una recopilación de la información bibliográfica existente, encontrándose que el trabajo más reciente en el área es el de Verenzuela et.al. (1994), titulado Estudio integrado para la caracterización del Grupo Cogollo del Cretácico del Bloque IX/XIV del Lago de Maracaibo, el mismo sirvió de guía a la presente interpretación. Por otra parte, se realizó una revisión de la base de datos geológicos de pozos (Finder), tomándose los valores de profundidad de los topes formacionales del área de interés; de manera tal de tener mayor control sobre los reflectores interpretados, para el cálculo de la función de velocidad y posterior realización de los mapas estructurales en profundidad. (Ver anexo 1)

Del mismo modo, se realizó una recopilación de registros o perfiles de pozos que sirvieron para proporcionar mayor información al estudio, así como para corroborar la geología existente en el subsuelo. Para calibrar la información sísmica disponible del área en estudio, se utilizaron perfiles de pozos y de tiros de verificación sísmica (Check Shot). Los perfiles de pozos utilizados fueron: Rayos Gamma (Gamma Ray o GR), Potencial Espontáneo (SP), Registro Sónico (DT), Registro para diámetro del hoyo (Caliper), Resistividad (LLD, LLS, LN, SN, etc.) y Densidad (RHOB) (Ver anexo 2).

Por último se realizó una revisión de la información sísmica disponible, encontrándose tres cubos sísmicos Lagomerge 3D, Lama 3D y Lama sur.

IV.1.2.- Carga y Validación de la información

Posteriormente se procedió a la carga de la información en el sistema interactivo GeoframeTM, donde se verificaron cada una de las curvas a utilizar en el transcurso del trabajo, realizándose la edición de aquellas que presentaban valores anómalos y de aquellas que presentaban diferentes corridas en el intervalo de interés (figura IV.2), utilizándose para la edición la aplicación Well Edit.

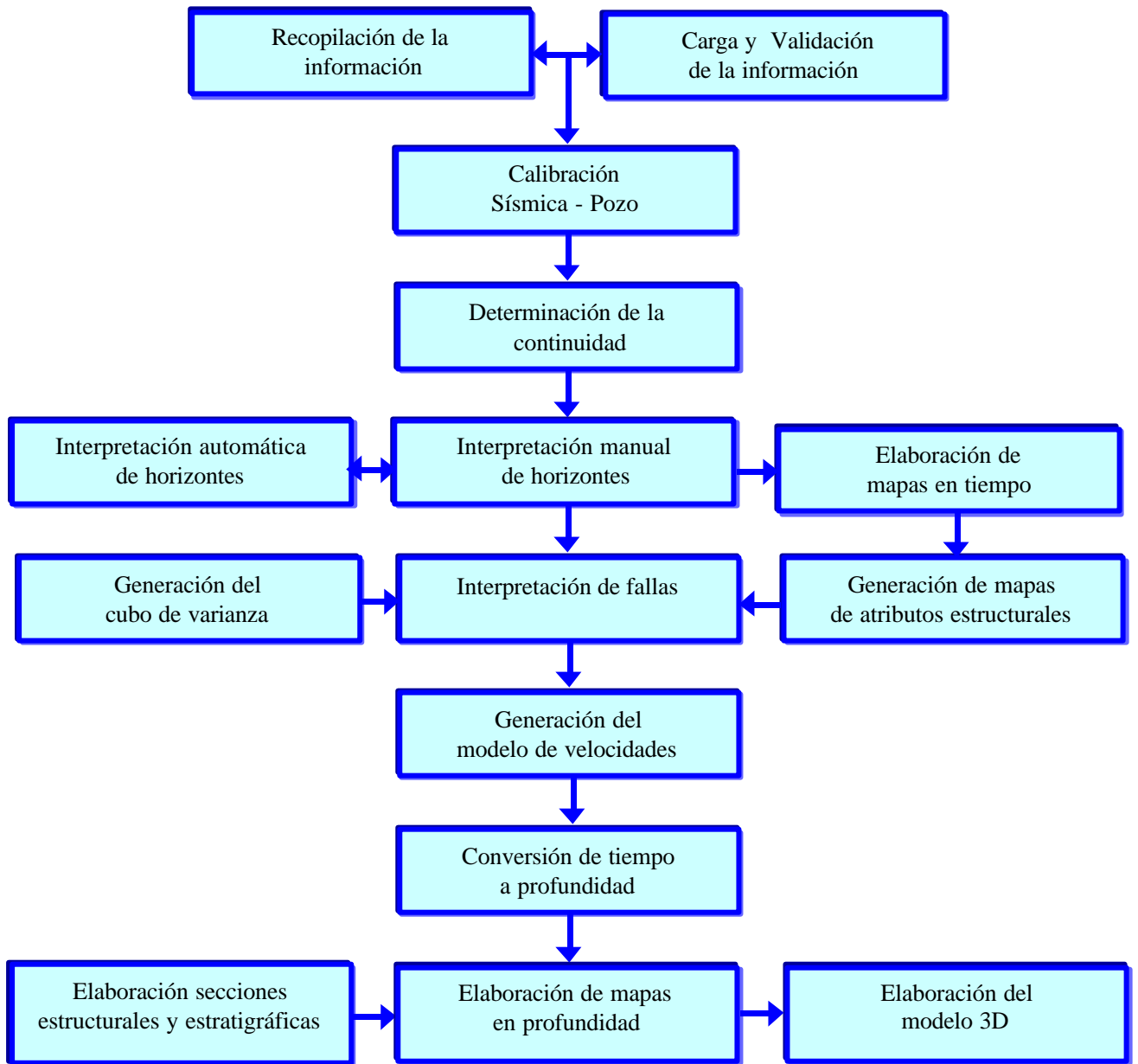


Figura IV.1.- Diagrama de flujo de la interpretación sísmica estructural 3D

Una vez verificada la información de los registros, se realizó un análisis del contenido de frecuencia a través de la aplicación SyntheticTM, la cual permite extraer la ondícula de la sísmica que atraviesa el pozo y calcular el espectro de frecuencia de la misma obteniéndose un gráfico de frecuencias (figura IV.3), donde se pudo determinar la frecuencia media del mismo. Este procedimiento fue realizado a un total de siete pozos del área, observándose como frecuencia media 15 Hz.

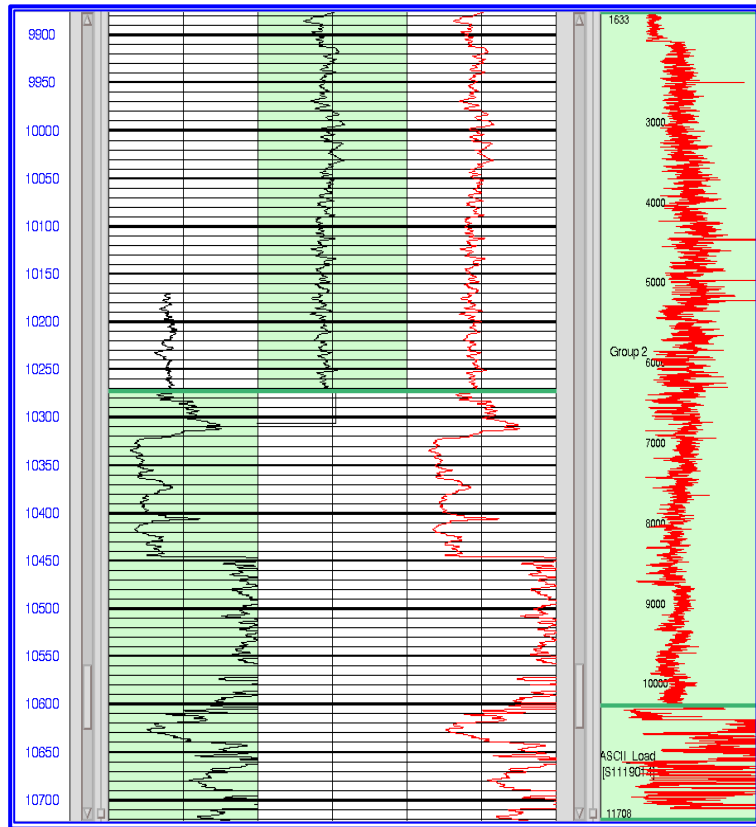


Figura IV.2.- Ejemplo de la edición de una curva con diferentes corridas

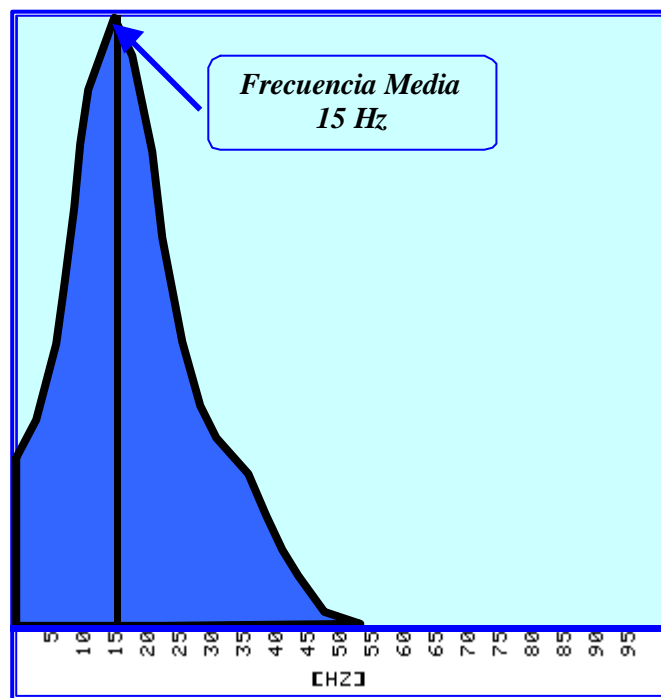


Figura IV.3.- Espectro de frecuencia donde se observa una frecuencia media de 15 Hz

Calculada la frecuencia media del área, se procedió a calcular la resolución vertical para conocer el menor espesor de roca que se puede resolver la sísmica, utilizando la relación de Rayleigh la cual se muestra a continuación:

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

Donde:

$\lambda/4$: Resolución vertical,

λ : Longitud de onda aparente,

V_{int} : Velocidad intervállica,

f_{med} : Frecuencia media.

La velocidad intervállica fue calculada utilizando la siguiente formula:

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

donde A y B son los horizontes entre los cuales se quiere calcular la velocidad intervállica.

El cálculo de la resolución se realizó entre la Formación Mito Juan y la Formación Apón, para un total de siete pozos del área, resultando una resolución promedio de 192 pies.

A manera de ejemplo se presenta el cálculo de la resolución para el pozo LMA 0094

$$\frac{\lambda}{4} = \left(\frac{2000 * (11402\ pies - 14750\ pies)}{(2528\ ms - 3111\ ms)} \right) = \frac{11485\ pies/s}{60\ Hz} = 191\ pies$$

IV.1.3.- Calibración Sísmica – Pozo

Para establecer el significado geológico de los marcadores sísmicos, es necesario calibrar la sísmica. Para calibrarla, se debe realizar un sismograma sintético, donde se usan los registros sísmicos, previamente corregido por deriva mediante el registro de tiro de verificación, o check shot, y de densidad. Con el fin de generar una serie de reflectividad, la que al convolucionarse con una ondícula extraída de la sísmica, da como resultado una traza sintética.

Este sismograma sintético permite calibrar los reflectores en tiempo de las secciones sísmicas, con los topes geológicos de los pozos en profundidad y así establecer los marcadores a interpretar con dichos topes (figura IV.5).

En este trabajo, se generaron cinco (5) sismogramas sintéticos en la aplicación Syntool de la plataforma Landmark™, correspondiente a los pozos LMA 0094, SVS 0198, 0205, 0218 y 0229, los cuales tenían cada uno de los registros necesarios para elaborar el sismograma. Con estos sismogramas se logró definir los reflectores sísmicos a interpretar, asociados a los topes del Miembro Socuy y de las Formaciones Apón y Lisure del Cretáceo.

En la figura IV.4 se muestra de izquierda a derecha la escala en tiempo y profundidad, seguida de la curva del registro sónico y el de densidad. Posterior a ésta, observamos el coeficiente de reflectividad seguido por el sismograma sintético con polaridad normal y con polaridad inversa. En el siguiente cuadro, se observa el sismograma sintético (en color rojo) colocado sobre las ondículas extraídas de la sísmica (en color azul), observándose un buen amarre entre la ondícula de la sísmica con la sintética. Por último, observamos la curva de correlación del sintético con la sísmica.

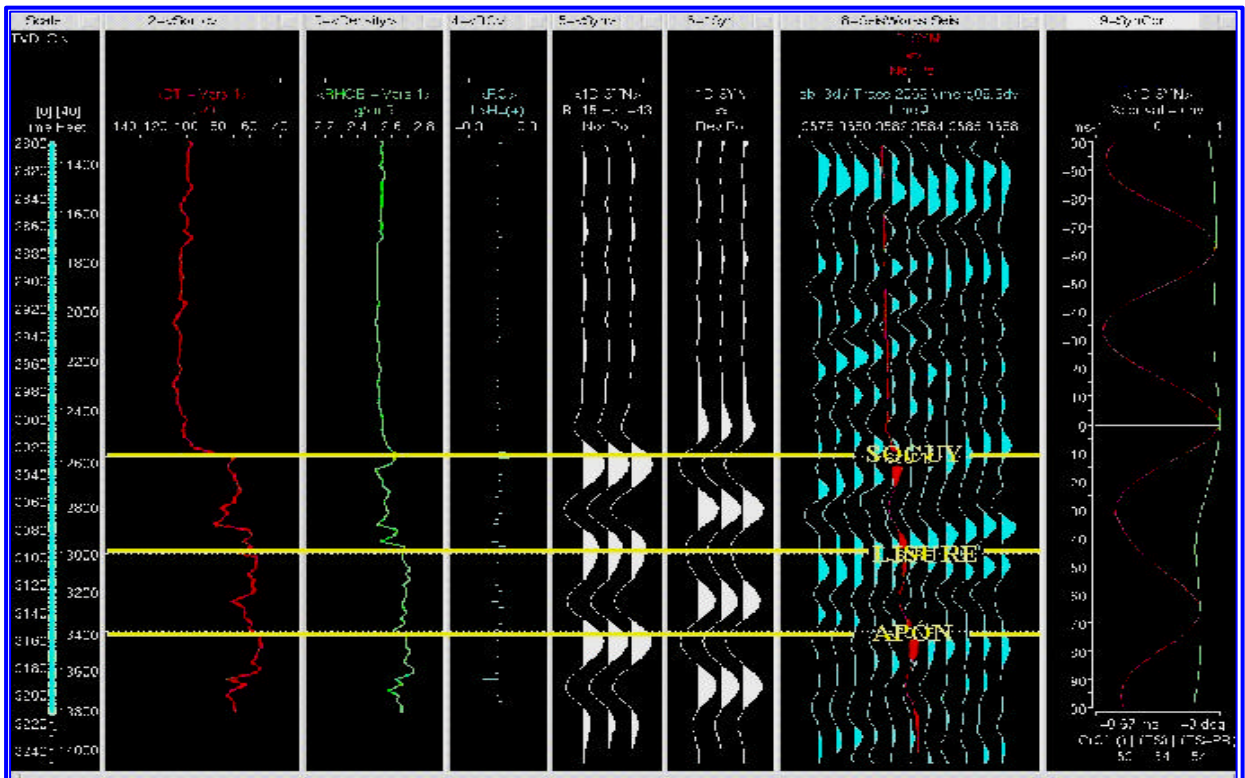


Figura IV.4.- Sismograma Sintético del pozo SVS 0198

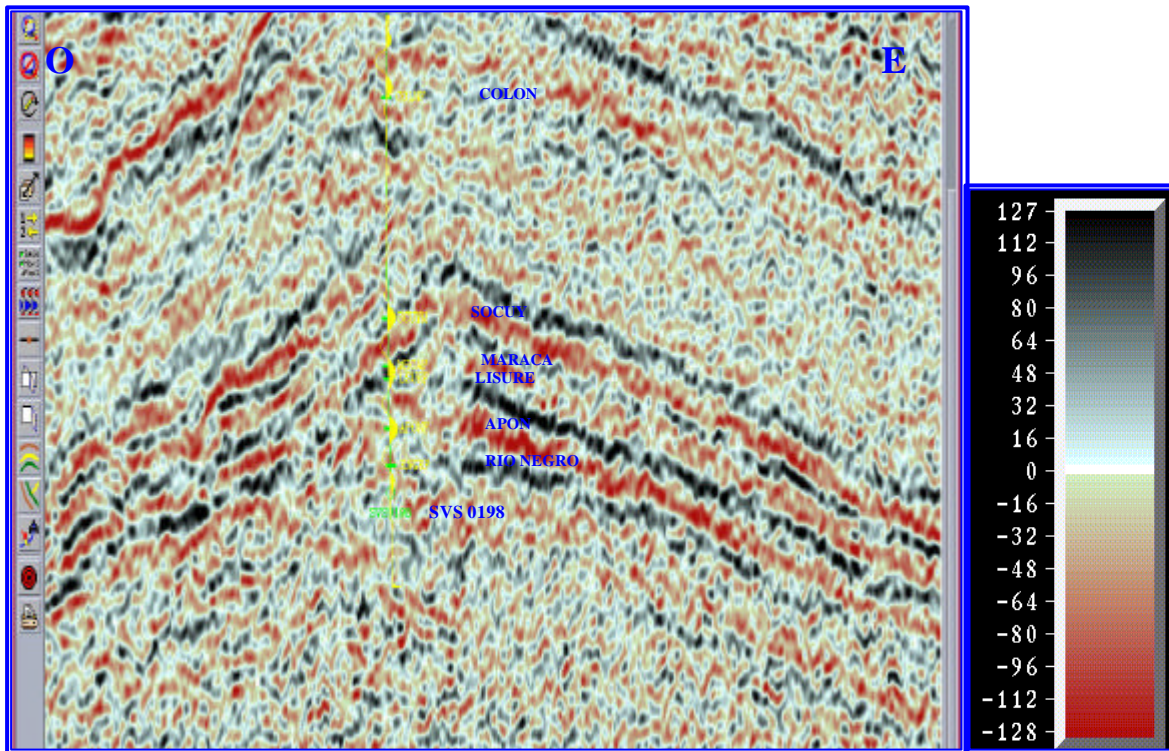


Figura IV.5.- Sección sísmica donde podemos observar el sismograma sintético desplegado sobre la línea que atraviesa el pozo SVS 0198, indicando los reflectores que identifican a los topes geológicos .

IV.1.4.- Determinación de la continuidad

Tomando en cuenta que uno de los aspectos en los cuales se basa la interpretación sísmica es la continuidad de los reflectores, siendo ésta la propiedad por la cual un evento o pulso sísmico puede ser reconocida en trazas sucesivas, e identificados los reflectores sísmicos a interpretar; se realizó una revisión del cubo sísmico para determinar la continuidad, observándose que tanto en líneas como en trazas podía seguirse muy fácilmente cada uno de los reflectores escogidos, mostrando una buena continuidad a lo largo de toda el área a ser interpretada.

IV.1.5.- Interpretación de horizontes

Luego de la calibración sísmica - pozo, elección de los reflectores y determinación de la continuidad de los mismos, se procedió a interpretar 432 Km² del cubo sísmico Lagomerge 3D. Éste es el resultado de un post-procesamiento, en el cual se unió en un solo levantamiento los 27 levantamientos sísmicos existentes en el lago. El área de interés de la U.E. Lagomedio comprende cuatro de dichos levantamiento (figura IV.6). El área interpretada se encuentra enmarcada por las líneas orientadas en sentido E-O 3300 – 4100 y las trazas en sentido N-S 1800 – 2400, este perímetro corresponde a las coordenadas UTM:

Este mínimo: 203959

Norte mínimo: 1088982

Este máximo: 221935

Norte máximo: 1112949

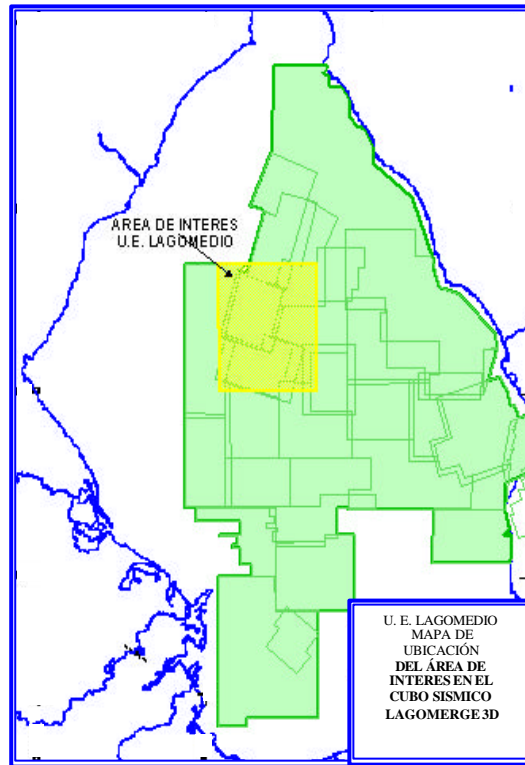


Figura IV.6 Mapa de ubicación del área de interés de la U.E. Lagomedio en el cubo sísmico Lagomerge 3D

La interpretación de los tres reflectores, previamente escogidos, se realizó cada cinco líneas y cada cinco trazas en la aplicación Charisma – ImainTM de la plataforma GeoframeTM, haciendo uso de la opción “interpretación de horizontes” y el modo de interpretación auto track (figura IV.7). Cabe destacar que la interpretación se realizó de dos maneras; la primera de forma manual, donde el interprete es el encargado de dibujar el horizonte, y la segunda de forma automática (figura IV.8), donde se coloca un punto o semilla sobre el reflector de interés, y la subaplicación VoxelpickTM de la aplicación GeovizTM dibuja el horizonte, siempre que el reflector sea continuo en el área. En este trabajo, la segunda forma de interpretación ayudó a corroborar el trabajo realizado por el interprete; demostrándose con esto que esta herramienta es de gran ayuda para el interprete a la hora de optimizar el tiempo en la interpretación, ya que puede usarse como guía al interpretar horizonte continuos.

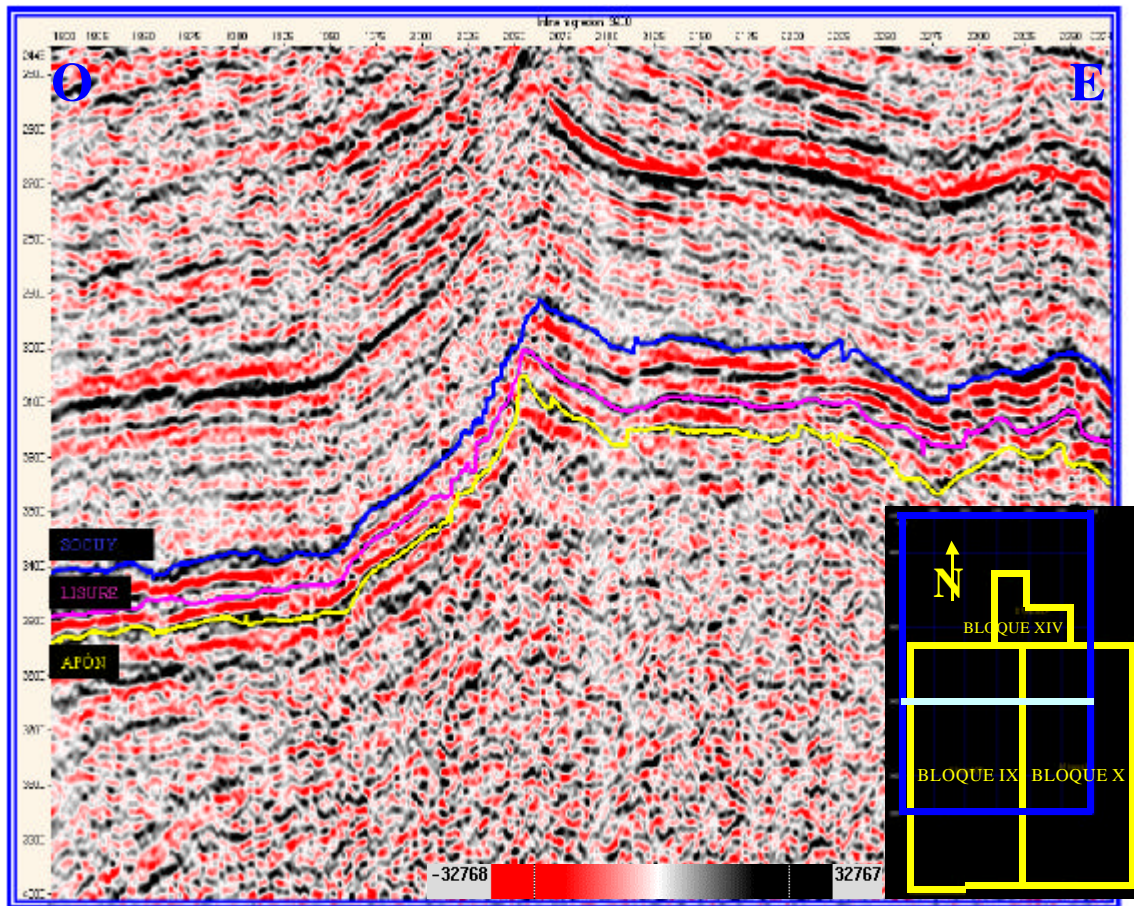


Figura IV.7.- Sección sísmica en sentido O-E donde se observan los tres horizontes interpretados

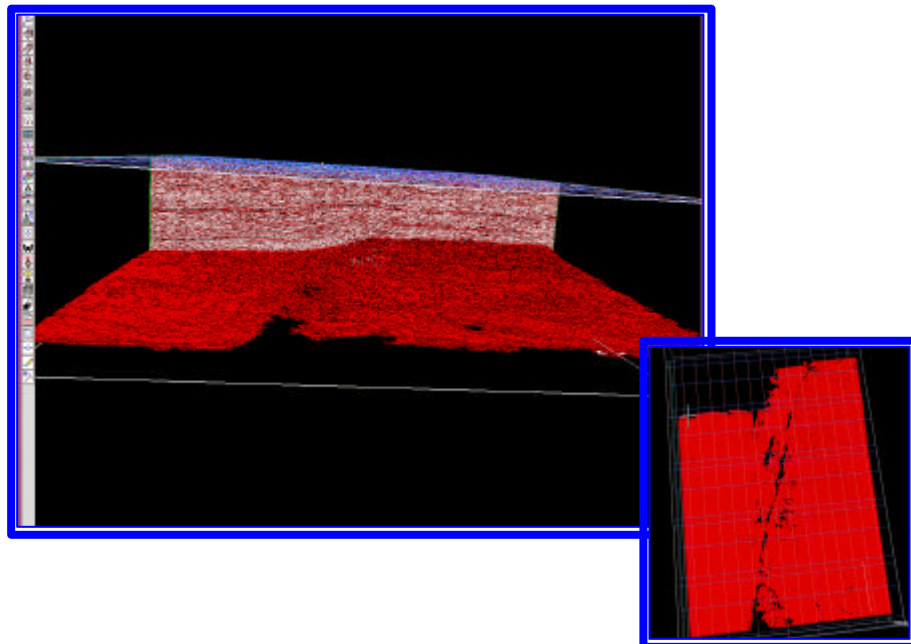


Figura IV.8.- Vista tridimensional del horizonte correspondiente al Miembro Socuy, interpretado automáticamente.

Una vez realizada la interpretación del área, se obtiene un mallado para cada uno de los reflectores interpretados, los cuales, utilizando la opción ASAP del software CHARISMATM, se interpolaron, obteniéndose los mapas estructurales en tiempo.

La figura IV.9.- muestra el mallado y el mapa estructural en tiempo para la Formación Lisure. El mismo está comprendido entre 2,4 y 3,9 segundos; los colores rojo y amarillo corresponden a los menores valores de tiempo, mientras que los colores verde y azul corresponden a los mayores valores de tiempo. También se pueden observar rasgos que dan una orientación de la ubicación de las fallas principales de la región interpretada.

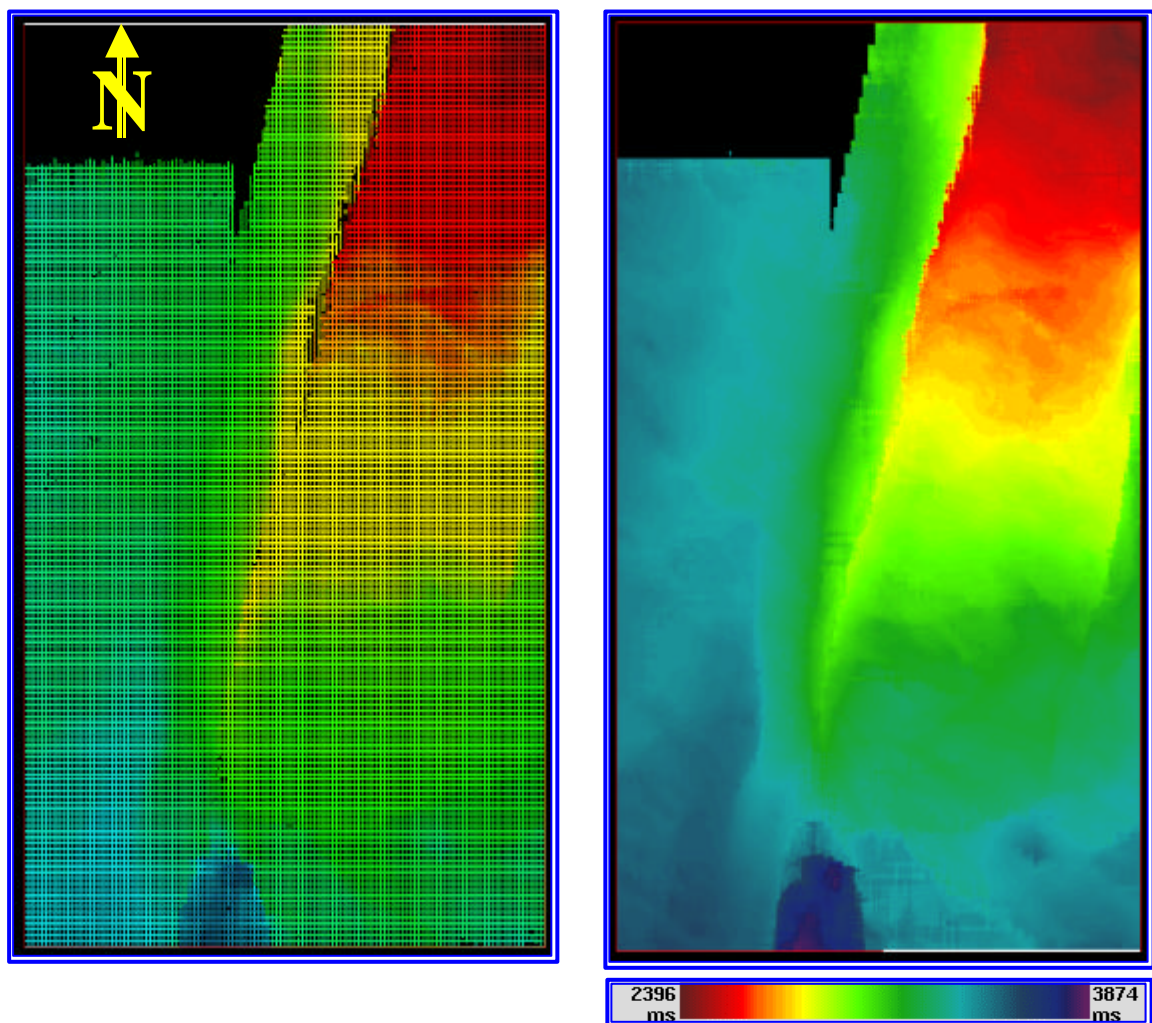


Figura IV.9.- Mallado y mapa en tiempo del horizonte interpretado correspondiente al tope de la Formación

Apón

La figura IV.10 muestra una visión tridimensional del mapa en tiempo de la Formación Lisure, donde podemos observar ambos flancos de la falla principal (Lama-Icotea) y el graben Lago formado por ésta y la falla VLE-400 al sur del área.

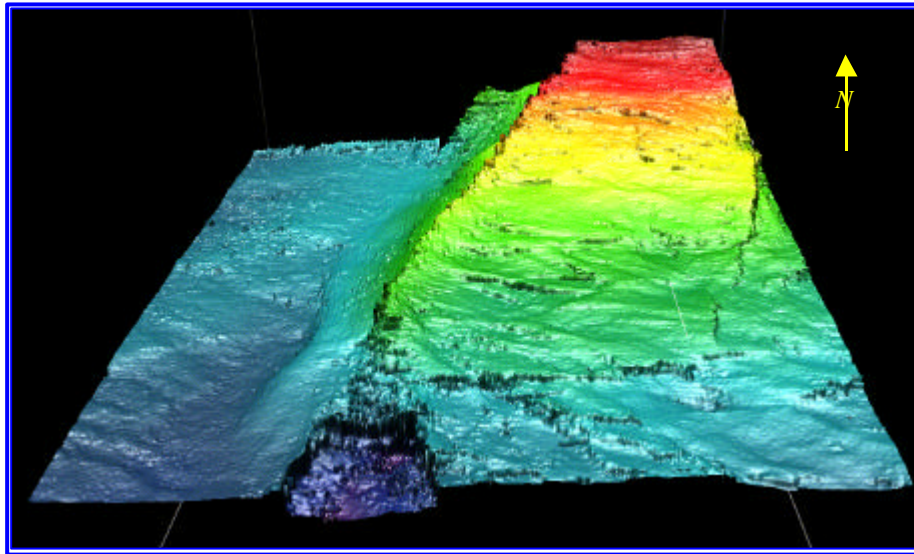


Figura IV.10.- Visualización tridimensional del horizonte interpretado correspondiente al tope de la Formación Lisure.

IV.1.6.- Interpretación de fallas

A partir de los mapas en tiempo, se generaron los mapas de atributos sísmicos estructurales (coeficiente de correlación, buzamiento, azimuth y segunda derivada o edge, figura IV.11); además de realizarse una revisión del levantamiento sísmico con la finalidad de determinar las fallas principales, así como sus rumbos, utilizando animaciones verticales en líneas, trazas y secciones horizontales en tiempo (time slices, figura IV.12). Otra herramienta, que permitió el seguimiento de los planos de fallas fue el cubo de varianza (figura IV.13).

Identificadas las estructuras, se procedió a interpretar, en cada diez líneas y cada diez trazas, los cortes de fallas asociados a los lineamientos observados. Dichos cortes de fallas producen un contacto en cada uno de los lados del horizonte que es atravesado por la falla tanto del lado deprimido como del lado levantado de ésta. Estos contactos delínean la extensión o límite de las fallas en los mapas estructurales y su interpretación puede hacerse manual o automáticamente. Luego, se procedió a interpretar los límites de fallas sobre los horizontes interpretados. El procedimiento consistió en unir los puntos de contactos a través de un contorno que conserve la tendencia general de la dirección de dicha falla. El resultado

de este procedimiento es la generación de mapas de planos de las fallas del área de estudio, además de secciones verticales con cortes de fallas y horizontes de interés (figuras IV.14 y IV.15).

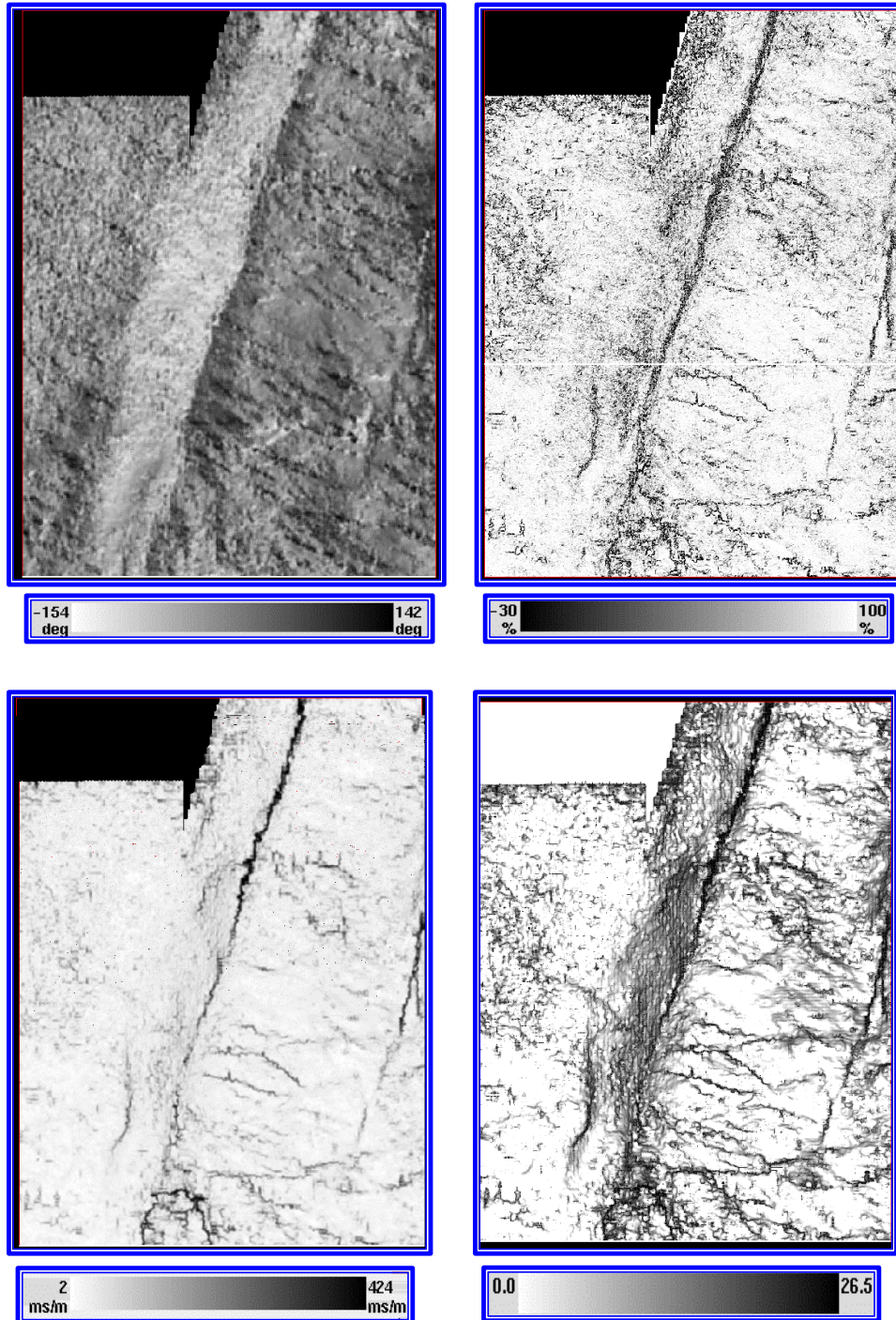


Figura IV.11.- Mapas de atributos sísmicos estructurales utilizados para identificar las fallas, en la parte superior observamos los mapas de Azimut y Correlación, mientras que en la inferior observamos los mapas de Buzamiento y Segunda derivada o Edge donde se aprecian las estructuras principales

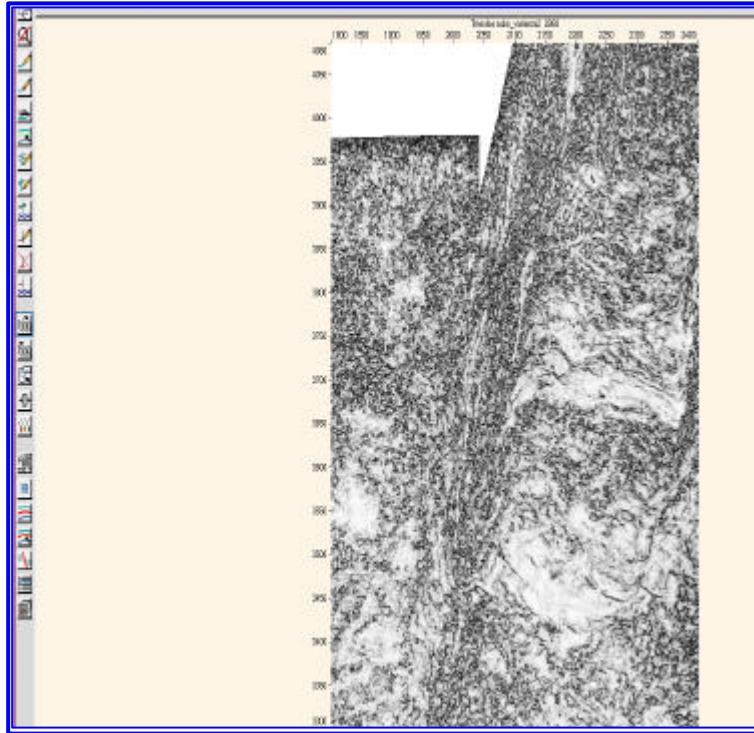


Figura IV.12.- Sección horizontalizada a 2860 ms donde se observan las alineaciones principales.

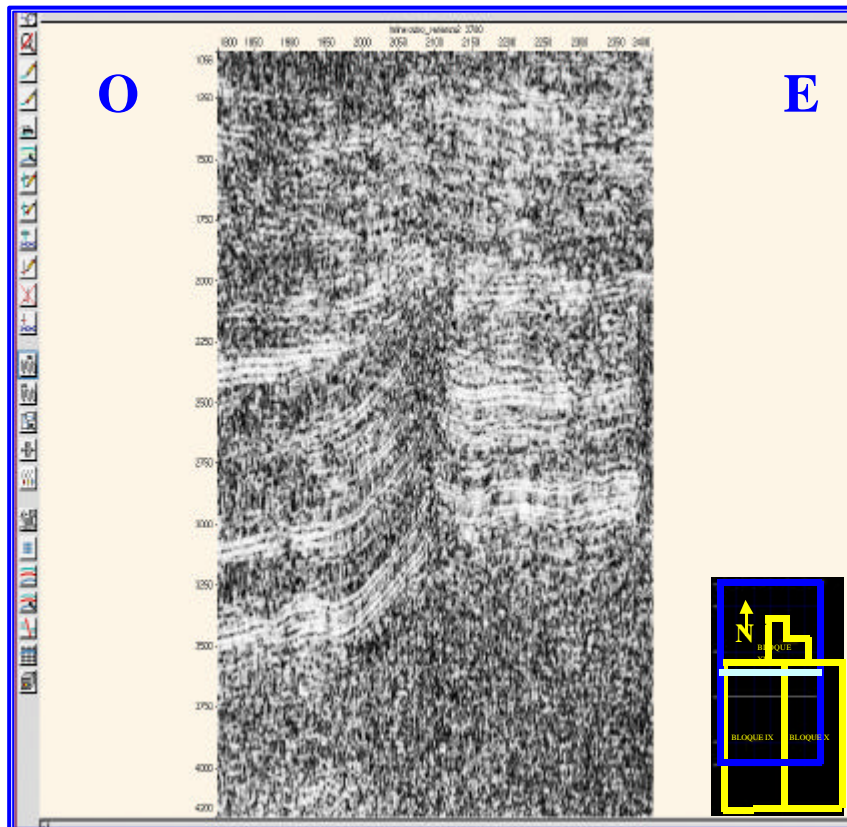


Figura IV.13.- Sección sísmica en sentido O-E del cubo de varianza donde se observan las estructuras principales.

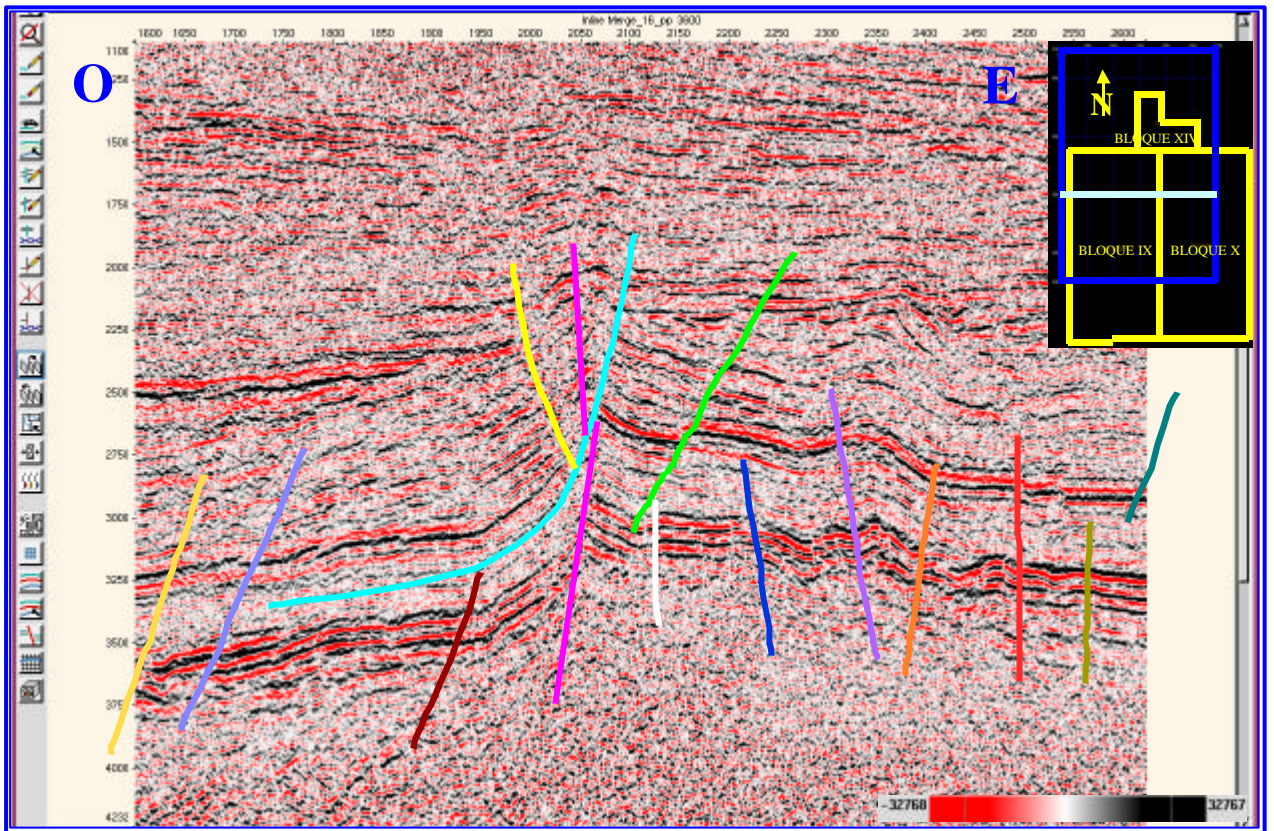


Figura IV.14.- Sección sísmica en dirección O-E con fallas interpretadas

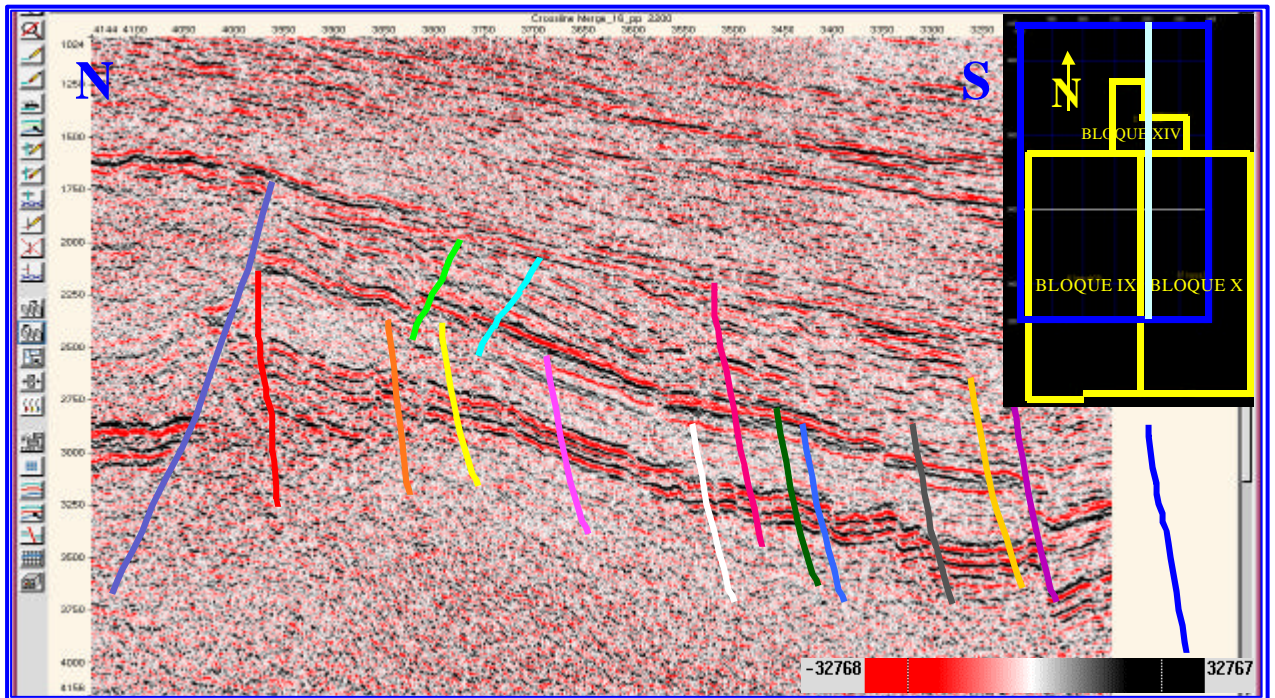


Figura IV.15.- Sección sísmica en dirección N-S con fallas interpretadas.

IV.1.6.1.- Evolución estructural del área de estudio.

La interpretación de fallas permitió la definición del marco estructural al identificarse diferentes eventos tectónicos y estilos estructurales, que afectaron el área de estudio desde el Jurásico -Triásico hasta el Mioceno - Plioceno, los mismos se caracterizan por medio de dos fases de deformación (tensional y compresional) cuya evolución se expone a continuación:

La primera fase se produce durante el Jurásico –Triásico, debido a procesos extensivos producto de la división de Pangea. En dicha fase se forma un sistema de estructuras del tipo graben, entre los cuales se encuentra el graben ubicado al oeste de la falla Lama – Icotea. La deformación tensional perseveró durante el Cretácico y el Paleoceno.

En el Eoceno se produce la colisión de la Placa del Caribe con la Placa Suramericana, provocando una segunda fase de deformación (compresional). Durante esta fase se genera una falla inversa tipo rampa, la cual desplaza a Icotea, y una serie de fallas normales antitéticas y sintéticas a la falla Lama-Icotea, que llegan a cortar las calizas Cretácicas. Adicionalmente se forma una serie de fallas normales escalonadas las cuales además de desplazar las capas del Eoceno, mueven al Paleoceno y el Cretácico. Estas fallas se originaron por el emplazamiento de las Napas de Lara en el extremo Nororiental del Bloque de Maracaibo.

Durante el Eoceno superior ocurre la inversión estructural que reactivó a la falla Lama-Icotea y sus antitéticas, producto de la acción compresiva originada por el levantamiento de la Sierra de Perijá. Se asocia a esta inversión estructural el movimiento transcurrente de la falla Lama-Icotea, el cual pudo deberse a una rotación horaria de los bloques.

En el Mioceno Tardío – Plioceno, el levantamiento de los Andes venezolanos produce una deformación compresional en la Cuenca del Lago de Maracaibo. Evidencia de lo antes expuesto, es el acortamiento de todas las secuencias infrayacentes.

IV.1.7.- Generación del modelo de velocidades - Conversión de tiempo a profundidad

La generación del modelo de velocidad se realizó utilizando los algoritmos matemáticos del programa Indepth de GeoframeTM, el cual requiere como entrada las superficies en tiempo y las funciones de velocidad obtenidas de los tiros de verificación (Check-Shot), arrojando como salida la ley de velocidad correspondiente al cubo sísmico interpretado.

La figura IV.16 muestra la ley de velocidad obtenida para el horizonte correspondiente

a la Formación Apón, la cual se encuentra en un rango comprendido entre los 7603ft/s y los 9607 ft/s, correspondiendo los colores rojos a las velocidades más bajas, mientras que los colores azules representan las más altas. Cabe destacar que en esta figura podemos observar la influencia de la falla Lama – Icoatea, al notarse un cambio en las velocidades cuya orientación responde al rumbo NNE-SSO de dicha falla.

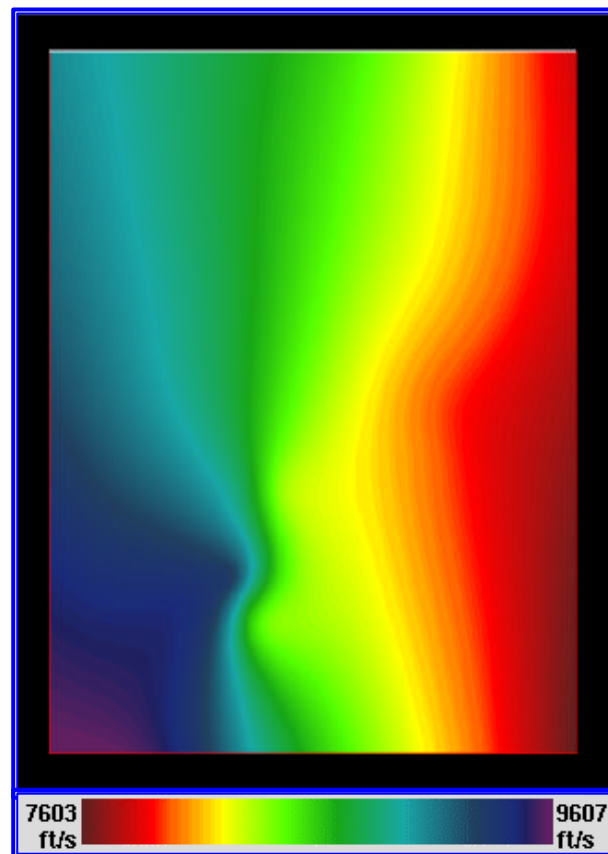


Figura IV.16.- Modelo de velocidades correspondiente a la Formación Apón

Una vez obtenido el modelo de velocidades y debido a que en la práctica se trabaja con profundidad y los datos sísmicos se encuentran representados en tiempo, se realizó la conversión de los mismos para obtener los mapas estructurales en profundidad

IV.1.8.- Secciones estructurales y estratigráficas

Paralelamente a la elaboración de los mapas en profundidad se realizaron secciones estructurales y estratigráficas, las cuales permitieron verificar la ubicación de los topes formacionales, observar el cambio de espesores a lo largo del área de estudio; además

de consolidar el modelo geológico estructural, ya que se pueden corroborar los buzamientos de las estructuras geológicas involucradas.

La figura IV.17 muestra la sección estructural realizada con rumbo paralelo a la falla principal, en ella se observa la curva de los registros de GR en verde y resistividad o SP en rojo. Estas secciones, además de mostrar la correlación de los topes geológicos, muestran estructuras tipo anticlinales a lo largo de la misma. Dichas estructuras fueron verificadas por la sísmica y se describen en el punto IV.1.9.

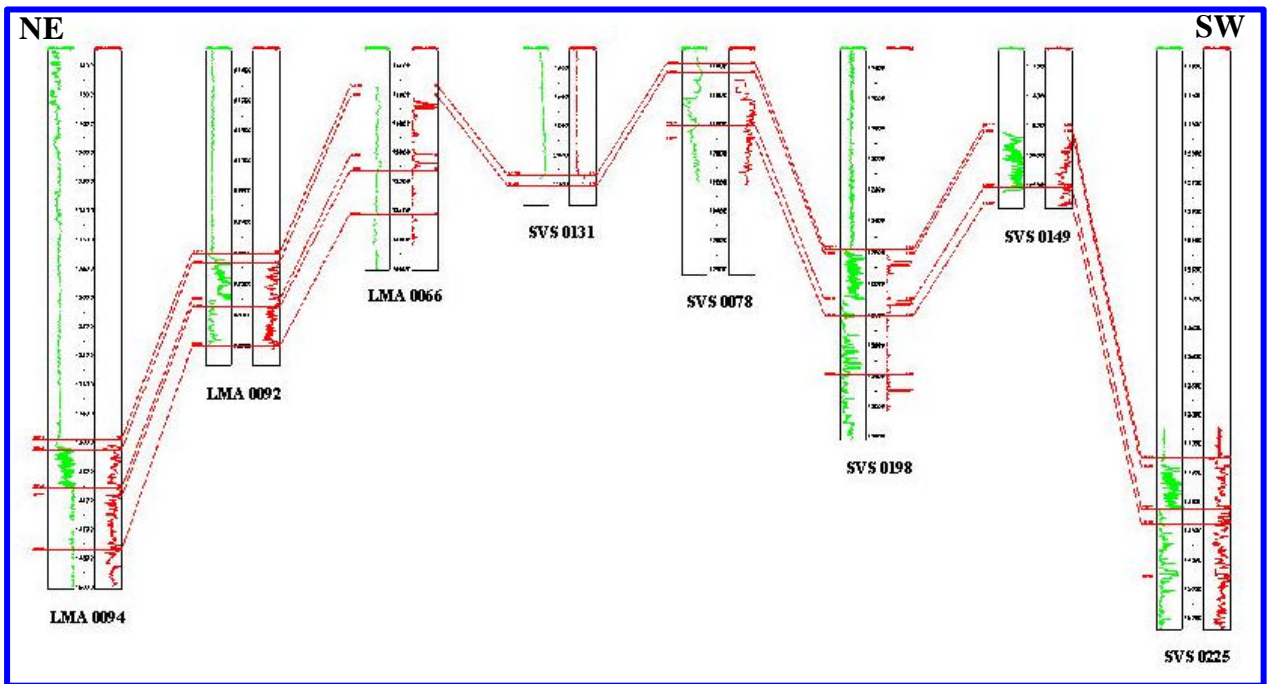


Figura IV.17.- Sección estructural realizada paralela a la falla principal

IV.1.9.- Mapas en Profundidad

Los mapas en profundidad, para cada uno de los horizontes interpretados, se realizaron en el programa CPS3 de la plataforma GeoframeTM, el cual permite contonear y editar los mismos.

Debido a que durante el Cretácico la cuenca del lago de Maracaibo permaneció bajo un régimen extensivo, tenemos que los mapas estructurales en profundidad, de las formaciones en estudio presentan un patrón de fallamiento normal que se puede dividir en: un sistema de fallas paralelo a la falla principal y otro perpendicular a la misma. La falla principal del área es la falla Lama-Icotea, la cual presenta un rumbo NNE-SSO y un buzamiento orientado hacia el oeste que cambia en la zona sur del área hacia el este, donde junto a la falla VLE400 forman una depresión.

La falla Lama-Icotea atraviesa toda el área y la divide en dos grandes bloques: un graben en el flanco oeste y un horst en el flanco este. A nivel de la Formación Socuy y hasta la Formación Misoa de edad Eoceno, podemos observar una serie de fallas inversas antitéticas y sintéticas que acompañan a Icotea. Específicamente, en el mapa estructural en profundidad del tope del Miembro Socuy (figura IV.18), podemos observar en el flanco oeste una falla antitética paralela a Icotea, produciéndose bloques, en forma de cuña, los cuales encierran anticlinales que fueron levantados por compresión. Paralelas a Icotea y su falla antitética, observamos una serie de fallas normales las cuales se encuentran sobre una estructura monoclin. Por otra parte, observamos otra serie casi perpendicular a la anterior con rumbo casi E-O y cuyo buzamiento es hacia el norte para las fallas ubicadas del centro hasta el norte del área y hacia el sur para la ubicadas al sur de la misma.

En el flanco este, se encuentran dos fallas inversas paralelas a Icotea las cuales encierran estructural anticlinales. Por otra parte al sur del área encontramos una serie de falla normales de rumbo NNO-SSE y buzamiento hacia el Este, entre la que se encuentra la falla VLE400 nombrada anteriormente. En la zona centro-sur del área se encuentran un grupo de fallas con orientación E-O y buzamiento hacia el sur, el cual se encuentra dispuesto en forma escalonada o en echelon.

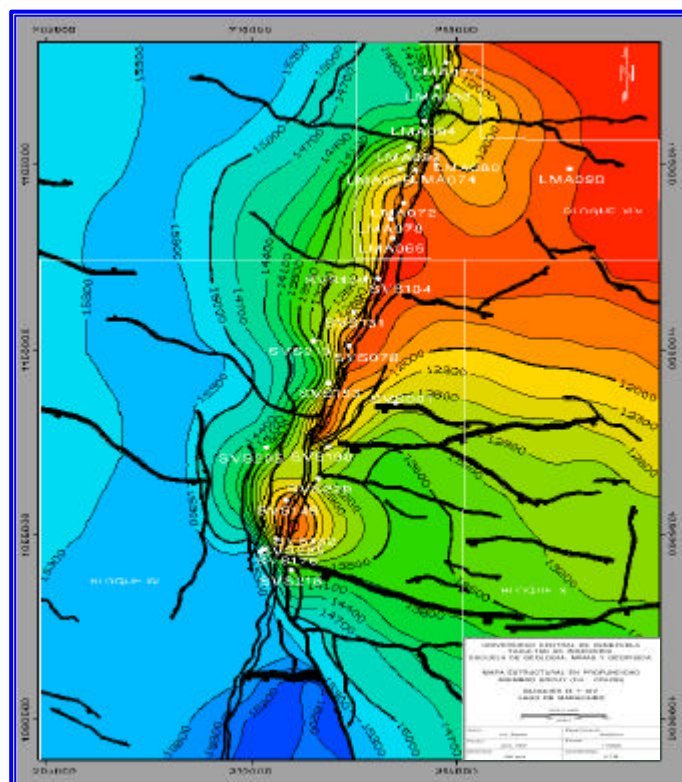


Figura IV.18.- Mapa estructural en profundidad del Miembro Socuy (Fm. Colón)

IV.1.10.- Modelo sísmico estructural 3D

Realizados los mapas estructurales en profundidad, el siguiente paso fue la elaboración del modelo tridimensional en la aplicaciones Framework3D™ y Property3D™ de la plataforma Geoframe™. El modelo final se puede observar en las siguientes figuras:

Figura IV.19.- Vista general del modelo sísmico estructural 3D.

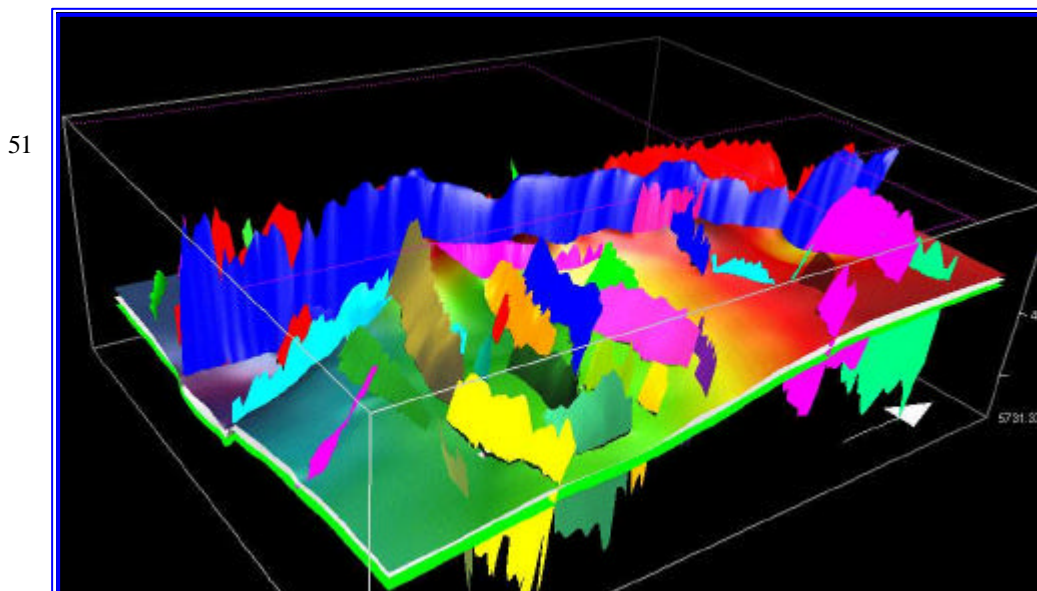
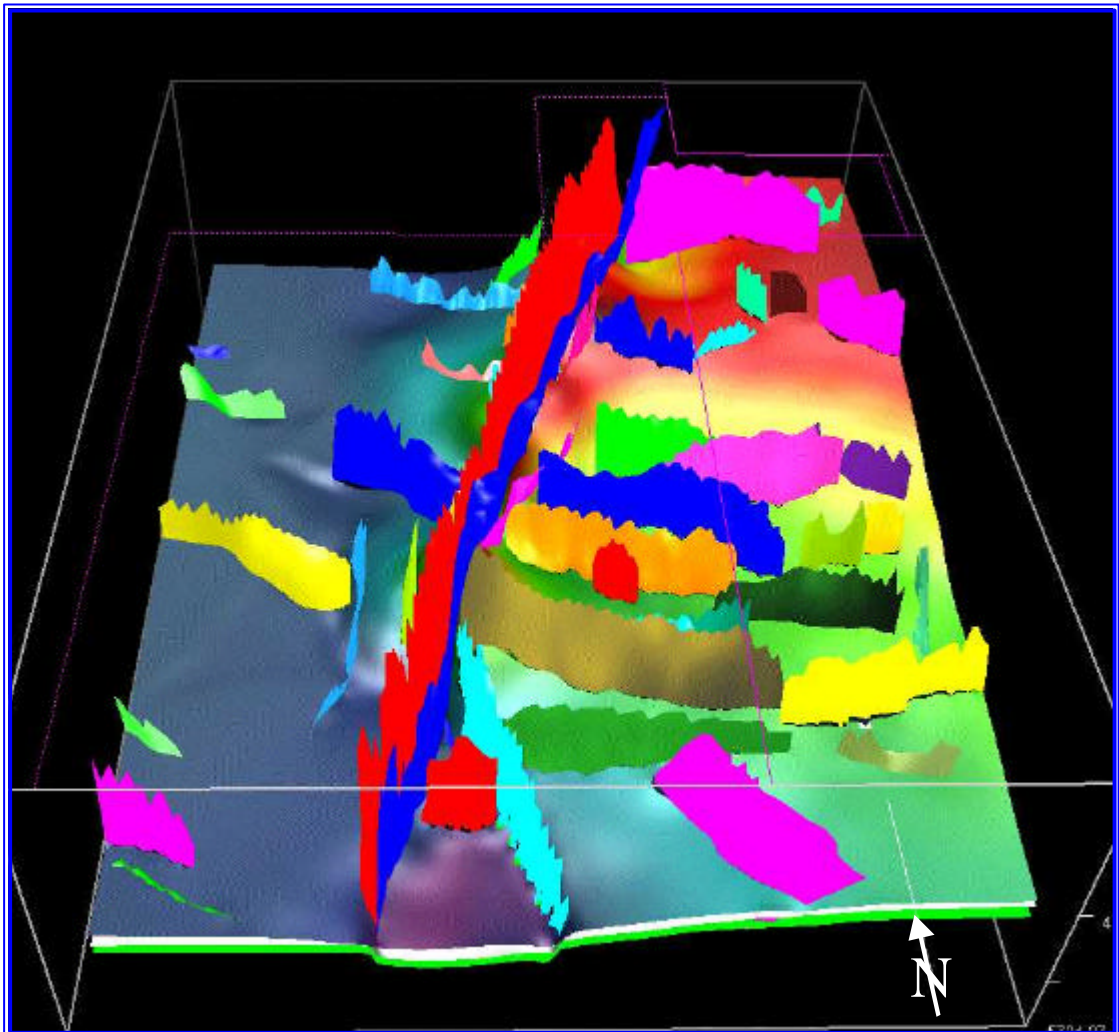


Figura IV.20.- Vista tridimensional del Flanco Oeste de la falla Lama –Icotea

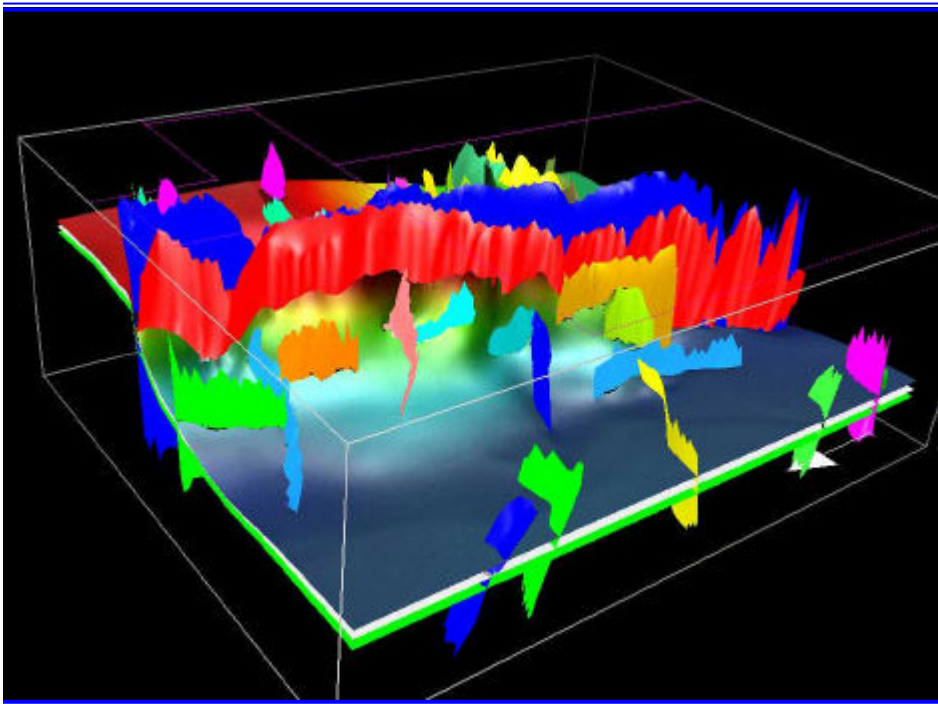


Figura IV.21.- Vista tridimensional del Flanco Este de la falla Lama –Icotea

IV.2 ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

52

Una vez elaborado el modelo estructural del área, se procedió a elaborar los mapas de atributos sísmicos, basados en volumen a partir de los mapas en $\bar{C}Á0©Cen$ la aplicación Charisma-ImainTM, y los mapas de propiedades petrofísicas en la aplicación LPMTM de GeoframeTM; los cuales permitieron realizar una correlación entre las propiedades de datos sísmicos, tales como: Amplitud, Frecuencia, Polaridad, con propiedades físicas de la

roca/fluido (K , ϕ , S_o), permitiendo realizar distribuciones areales de estas propiedades. Éstas son de gran ayuda a la hora de proponer zonas prospectivas, ya que es factible utilizar el carácter regional de la información sísmica para extrapolar la información, a partir de un área con información de pozos a una desprovista de pozos.

Los mapas de atributos sísmicos realizados respondieron principalmente a patrones estructurales, observándose en los mapas de amplitud una tendencia de valores bajos en las zonas falladas y valores altos en las alejadas a las fallas, en los mapas de frecuencia se observo en las zonas falladas un incremento de los valores mientras que en las zonas alejadas a las fallas tiende a disminuir el valor de la frecuencia (figura IV.22). Dichos mapas al ser comparados con los mapas de atributos estructurales muestran la correspondencia de zonas con amplitudes bajas y frecuencia altas con zonas de alto grado de fallamiento o fracturamiento de la roca.

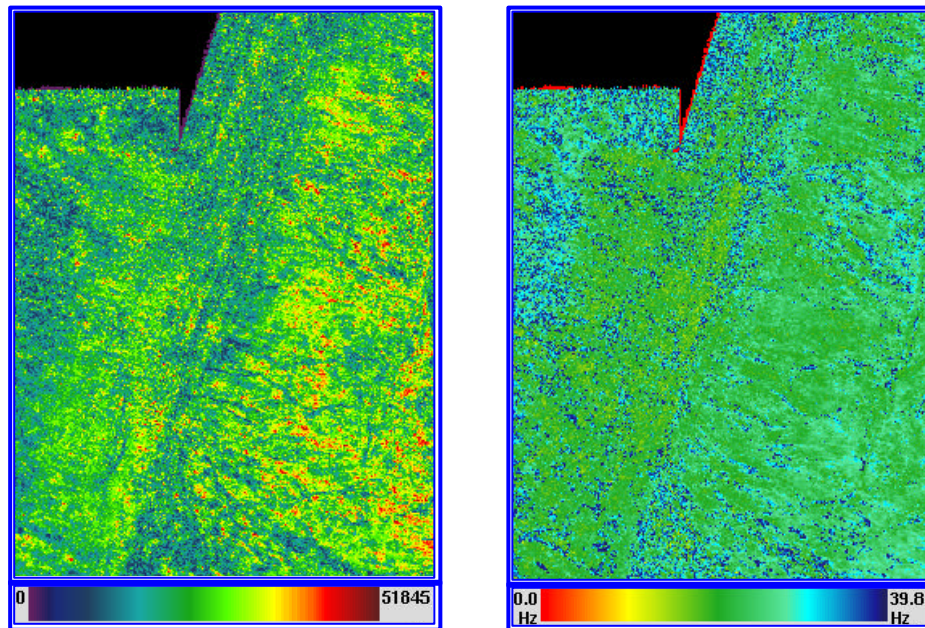


Figura IV.22.- Mapas de atributos sísmicos de volumen de la Formación Lisure (Amplitud-RMS, izquierda y Frecuencia instantánea, derecha).

Los mapas de propiedades petrofísicas se realizaron a partir de la información suministradas por catorce de los veintisiete pozos Cretácicos (Anexo # 3). Esta información se correlacionó con la información sísmica de atributos. La figura IV.23 muestra la matriz de calidad de correlación entre la petrofísica y los atributos para la Formación Lisure. En este caso, se utilizó un factor de correlación de 0.497, basado en las tablas estadísticas de Rohlf y Sokal de la Universidad de Nueva York.

	So	$\bar{\epsilon}$	CNP
Integrated_Seismic_Amplitude	24.4176	20.8181	24.64
Integrated_Apparent_Seismic_Polarity	52.344	39.6264	21.8896
Integrated_Instantaneous_Frequency	0.736559	7.662	2.20614
Integrated_Cosine_Of_Phase	13.1462	34.299	7.57056
Integrated_Reflection_Strength	23.8076	32.0951	27.7739
Integrated_Seismic_Magnitude	23.5507	66.4387	4.93867
Heterogeneity_Seismic_Amplitude	27.9787	29.6159	21.2668
Heterogeneity_Instantaneous_Phase	2.96615	0.918978	17.7448
Heterogeneity_Instantaneous_Frequency	17.8031	13.3933	45.0261
Heterogeneity_Reflection_Strength	19.5454	31.8372	8.26393
Heterogeneity_Cosine_Of_Phase	5.70115	32.7034	12.4606
Amplitude	7.00421	3.9621	38.0192
Instantaneous_Frequency	12.089	3.80659	3.87879
Reflection_Strength	24.6655	35.7319	18.3912
RMS_Amplitude	27.1899	43.9719	24.7424

Color Scale	< 20	20 to 40	40 to 60	60 to 80	> 80

Figura IV.23.- Matriz de calidad de correlación entre los valores de las propiedades petrofísicas y los mapas de atributos sísmicos.

Para la Formación Lisure, se elaboraron los mapas de porosidad y de saturación de petróleo. Por encontrarse correlación con los atributos, los valores de caliza neta petrolífera no correlacionaron con los mismos. El mapa de porosidad para esta formación, muestra los valores máximos en color azul y los mínimos en amarillo; mientras que el de saturación de petróleo presenta los valores bajos en color naranja, los medios en color verde y los altos en azul. Al comparar ambos mapas se observa, en la zona central y noroeste de los mismos, un área de alta porosidad y saturación de petróleo. La primera esta vinculada a un alto estructural. (figura IV.24).

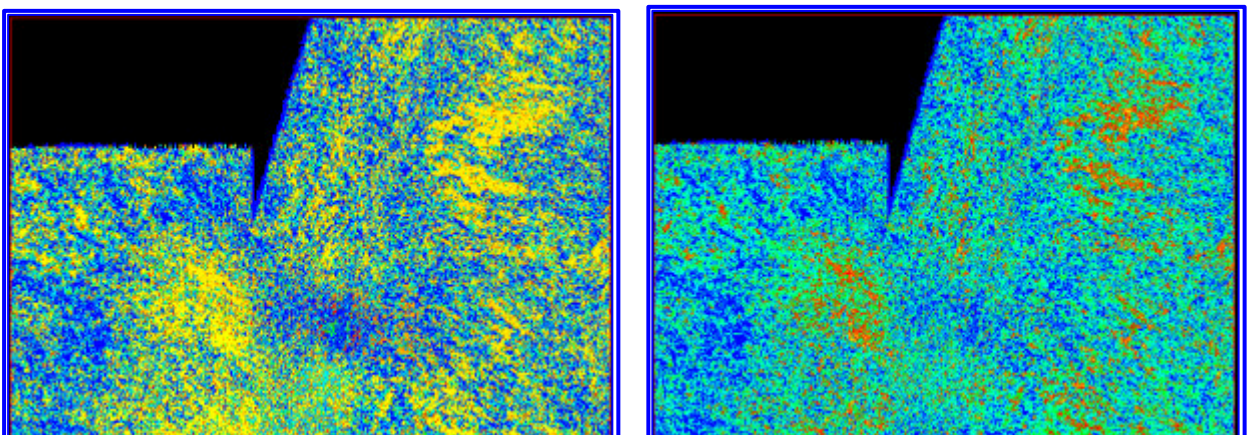


Figura IV.24.- Mapa de pseudo porosidad (izquierda) y pseudo saturación (derecha) para la formación Lisure.

Las figuras IV.25 y IV.26 muestran la matriz de calidad de correlación entre la petrofísica y los atributos para la Formación Apón, y los mapas de pseudo propiedades. Los mapas de porosidad y saturación de petróleo muestran los valores bajos de color amarillo y los altos en azul. El mapa de caliza neta petrolífera muestra los valores mínimos en color amarillo, mientras que los máximos están representados por los colores blanco y fucsia. Al comparar los tres mapas se observa una correlación entre los mapas de porosidad y saturación de petróleo, en los cuales se definen, al igual que para la Formación Lisure, dos zonas donde los valores de estas propiedades son altos. Dichas zonas están ubicadas en el centro y al noroeste del área estudiada.

	So	⊙	CNP
Integrated Seismic Amplitude	53.5508	51.0957	13.492
Integrated Apparent Seismic Polarity	62.3473	51.9232	24.8324
Integrated Instantaneous Frequency	0.684422	12.2592	64.8989
Integrated Reflection Strength	12.6516	7.51016	35.2438
Integrated Cosine Of Phase	52.6029	61.3156	37.0478
Integrated Seismic Magnitude	64.5025	23.1166	59.0692
Heterogeneity Seismic Amplitude	6.0466	31.1918	18.4267
Heterogeneity Instantaneous Phase	5.80174	19.787	77.4324
Heterogeneity Instantaneous Frequency	31.7782	37.2084	13.6819
Heterogeneity Reflection Strength	48.2445	34.6334	1.86115
Heterogeneity Cosine Of Phase	36.1381	28.2436	72.4444
Amplitude	3.36397	15.1014	32.7423
Instantaneous Frequency	17.918	26.9500	68.8079
Reflection Strength	34.2173	5.32668	1.72668
RMS Amplitude	76.8724	5.26035	34.4188
Instantaneous Phase	38.0591	61.9171	34.5683

Color Scale: < 20 20 to 40 40 to 60 60 to 80 > 80

FIGURA IV.25.- Matriz de calidad de correlación entre las propiedades petrofísicas y los atributos sísmicos para la Formación Apón.

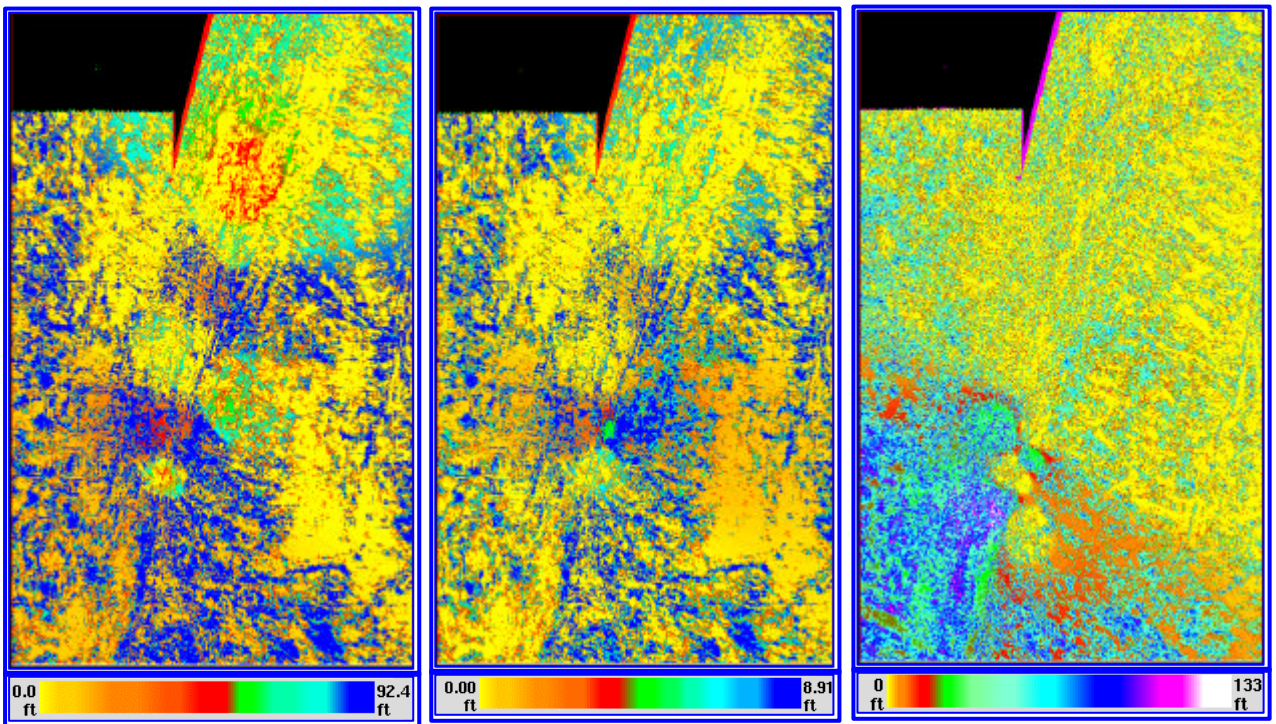


Figura IV.26 Mapas de pseudo saturación (izquierda), pseudo porosidad (centro) y pseudo CNP (derecha) de la Formación Apón

Por último se realizó el análisis de atributos sísmicos utilizando el método de similitud sísmica de PDVSA-INTEVEP el cual permite resumir el contenido de información de múltiples mapas de atributos en un solo mapa. El mapa de similitud, muestra la semejanza de la respuesta sísmica de cada región perteneciente al área de estudio con respecto a un punto de control seleccionado. Si los cambios en el yacimiento son asumidos como graduales, los mapas de similitud pueden ser usados para cartografiar áreas del yacimiento cuyas propiedades son similares a las propiedades alrededor del punto de control (Michelena et al, 1998).

En este trabajo se seleccionaron dos puntos de control, los pozos SVS 0131 y LMA 0072 por ser los pozos con mayor producción actualmente en el área. Los mapas de similitud resultantes se obtuvieron a partir de cinco mapas de atributos linealmente independientes y en ellos podemos observar que las áreas con mayor grado de similaridad están representadas por el color rojo y la de menor similaridad por el color morado. (figura IV.27).

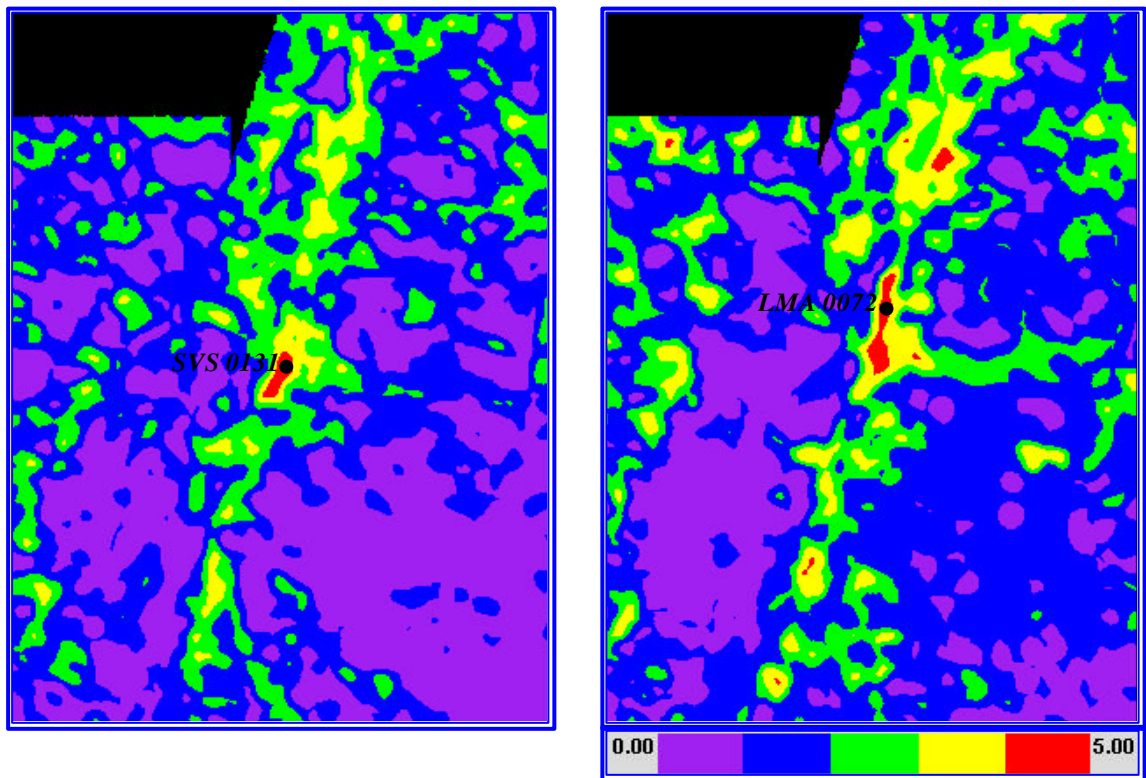


Figura IV.27.- Mapas de similitud para la Formación Lisure (Pozo SVS 0131, izquierda y Pozo LMA 0072, derecha).

V.- PRODUCCIN

V.1.- GENERALIDADES

En el campo Lama el pozo descubridor del cretácico fue el SVS 0078 perforado en el flanco oeste del Bloque IX en el año 1965. Con este pozo se dio inicio a la explotación económica de yacimientos naturalmente fracturados en el Lago de Maracaibo, ya que el pozo SVS 0001 perforado en 1957, no tuvo producción y el pozo SVS-0061 perforado en 1964 fue abandonado por problemas mecánicos. En 1966 se perforó en el Bloque XIV el pozo LMA 0066. En total han sido perforados 27 pozos que atraviesan parcial o totalmente la secuencia cretácica; 16 en el Bloque IX y 11 en el Bloque XIV. El mayor desarrollo del campo se ha realizado en el flanco oeste de la falla Lama Icotea, donde se han perforado 21 (78%) de los 27 pozos cretácicos.

La secuencia estratigráfica con producción de hidrocarburos se encuentra representada por el Grupo Cogollo, Formaciones Apón, Lisure y Maraca de edad cretácico inferior, y la Formación La Luna. En el área se ha producido hasta Diciembre del 2000 un total de 90900 MBNP de 34 °API promedio. La cifra oficial del Petróleo en sitio (POES) es de 756506 MBNP siendo las reservas recuperables de 170761MBNP.

En el campo se tomaron un total de 72 pruebas de restauración de presión mas 88 pruebas estáticas, las cuales sirvieron para estimar el comportamiento de presión durante los 35 años de historia de producción del campo. Para Diciembre del 2000 la producción acumulada del campo se situó en 90.9 MMBLS de petróleo, actualmente se encuentran activos cuatro pozos (LMA 72, SVS 131 - 198 - 218). Es importante señalar que cuatro pozos no han probado petróleo en los intervalos evaluados esto significa que el 85% de los pozos perforados han producido petróleo, pero por razones operacionales, no han podido continuar con su vida productiva.

A continuación se presenta un resumen de las historias de producción de cada pozo junto a un gráfico de comportamiento de producción de los mismo y el mapa de producción acumulada (mapa de burbujas) de los yacimientos Cretácicos (figuras V1- V24).

V.2.- HISTORIAS DE PRODUCCIÓN DE LOS POZOS CRETACICOS, BLOQUES IX Y XIV

V.2.1.- Bloque IX

V.2.1.1.- SVS 0001

El pozo SVS 0001 se completo en octubre de 1957 a hueco abierto como productor sencillo en las formaciones Apón, Lisure, Maraca, La Luna, Mito Juan, Guasare, Santa Bárbara en forma selectiva. Al evaluar las formaciones Apón, Lisure, Maraca y el intervalo inferior de Mito Juan fluyo agua salada. Finalmente en febrero de 1962 el pozo fue abierto en Mito Juan y comenzó a producir 548 BPPD. En mayo de 1962 fue cerrado por baja presión. En agosto de 1964, el pozo fue abierto nuevamente y murió en enero de 1965, en noviembre de ese año se realizó un reacondicionamiento a cabria donde se evaluó la Formación La Luna con resultados negativos y se recompletó en la Formación Santa Barbara. El pozo continuó produciendo hasta 1989 cuando fue reportado muerto.

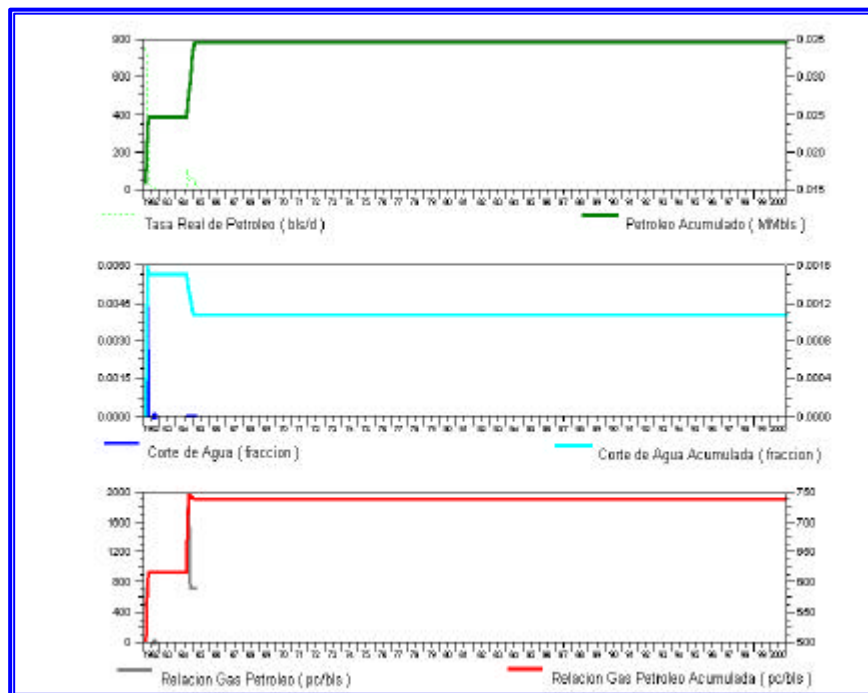


Figura V.1.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0001

V.2.1.2.- SVS 0061

El pozo SVS 0061 fue perforado en febrero de 1964 probándose la Formación LUCO (La Luna – Cogollo) con 298 BPPD. Por problemas mecánicos se abandonó dicha formación y se cañonearon las arenas La Rosa y C-6I.

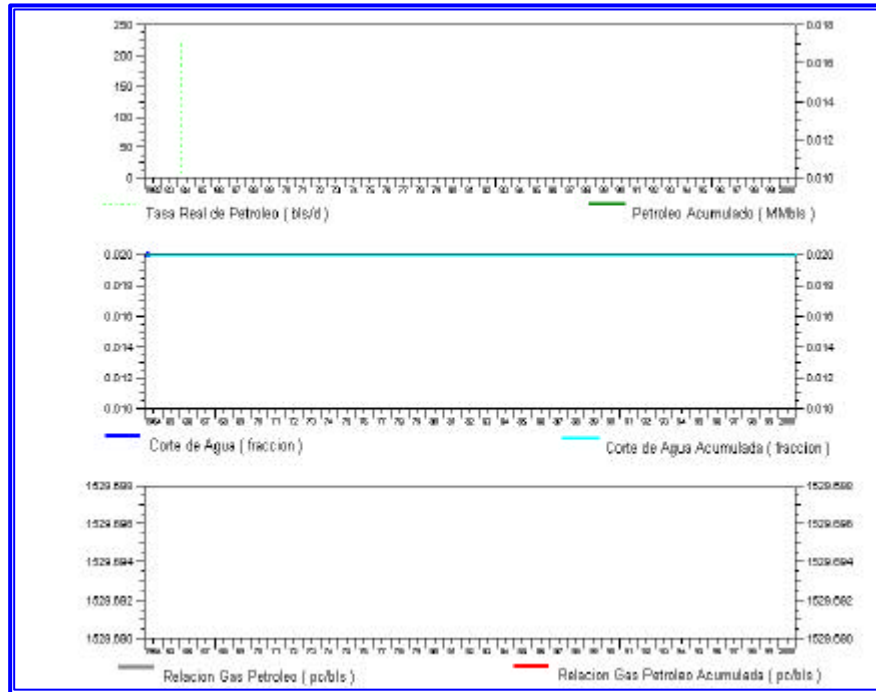


Figura V.2.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0061

V.2.1.3.- SVS 0078

El pozo SVS 0078 fue terminado en agosto de 1965, a hueco abierto en la Formación LUCO (La Luna-Cogollo), su producción inicial fue de 2400 BPPD el pozo se completó oficialmente en octubre de ese año produciendo 3196 BPPD. En febrero de 1966 se efectuó un reacondicionamiento y produjo 4750 BPPD, la producción se mantuvo en esos niveles hasta finales de 1967 cuando presentó problemas de producción de calizas. La producción declinó paulatinamente hasta 3400 BPPD en junio de 1968. En diciembre de 1968 se efectuó un segundo reacondicionamiento observándose una tasa de 1132 BPPD. En febrero de 1969 se acidificó y produjo 5082 BPPD. Para octubre del 1969 la producción declinó a 2370 BPPD. Entre los meses de septiembre y noviembre de 1972, se repletó el pozo sencillo y se realizó acidificación matricial produciendo el pozo 1412 BPPD. En septiembre de 1978 el pozo quedó inactivo por cierre de la válvula de seguridad, en septiembre de 1983 el pozo

quedó completado sencillo del mismo yacimiento y produjo 536 BPPD, en febrero de 1990 se abandonó el Cretáceo y se recompleto en Guasare y C-6 . En 1991 quedó el pozo cerrado por condiciones de producción insegura.

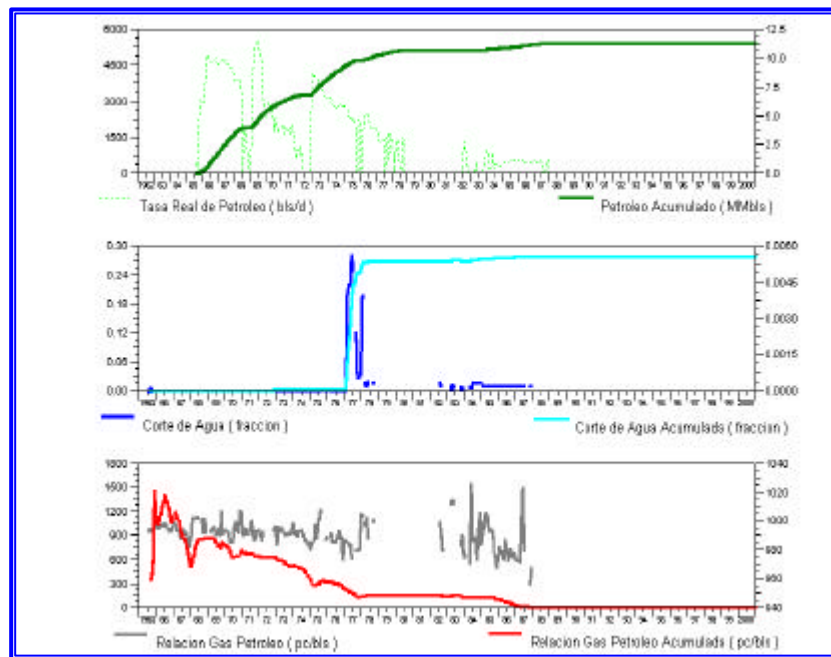


Figura V.3.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0078

V.2.1.4.- SVS 0104

El pozo SVS-104 se terminó de perforar en marzo de 1968, como productor sencillo en las calizas de Socuy - La Luna - Cogollo, produciendo inicialmente 6050 BPPD. El pozo fue puesto en producción continua en abril de 1968. Fue cerrado el 12 de julio de 1968 con 95-100% de agua. En agosto de 1968 se abandonó las calizas del Cretácico y se completó el pozo en las arenas C-6-I y C-7 del Eoceno.

V.2.1.5.- SVS 0129

El pozo SVS 0129 fue completado en noviembre de 1969 como productor sencillo a hueco abierto en el Cretáceo, en la Formación LUCO (La Luna – Cogollo) produciendo 3942 BPPD. Para noviembre de 1972 el pozo producía 2580 BPPD. En mayo de 1973 luego de una acidificación matricial se abrió a producción obteniéndose 941 BPPD. Para marzo de 1979 producía 799 BPPD. Se efectuó una acidificación matricial, abriéndose a producción y no fluyó. Entre febrero y marzo de 1981 se realizó un reacondicionamiento donde se abandonó el Cretáceo quedando el pozo inactivo. En Junio de 1986 se recompleto el pozo sencillo selectivo en la arena C-4 y Guasare.

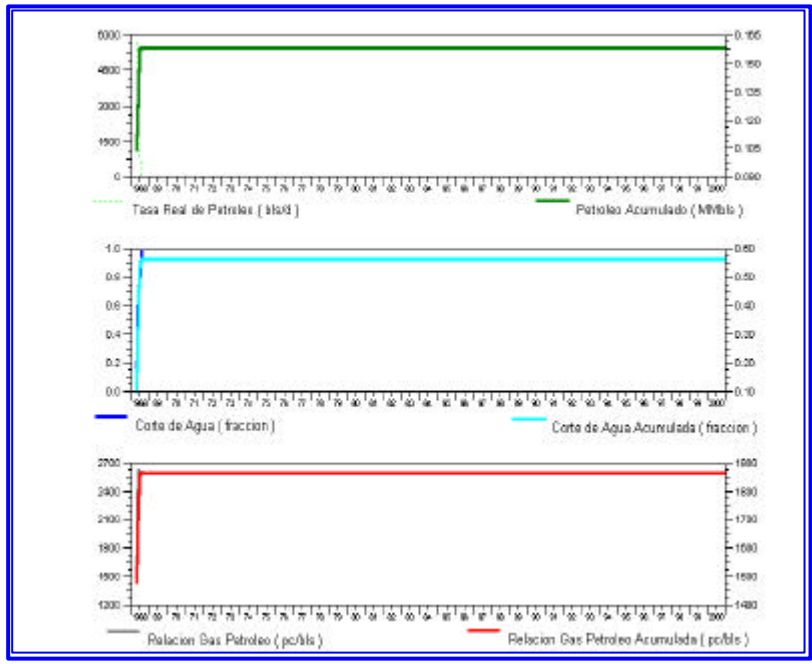


Figura V.4.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0104

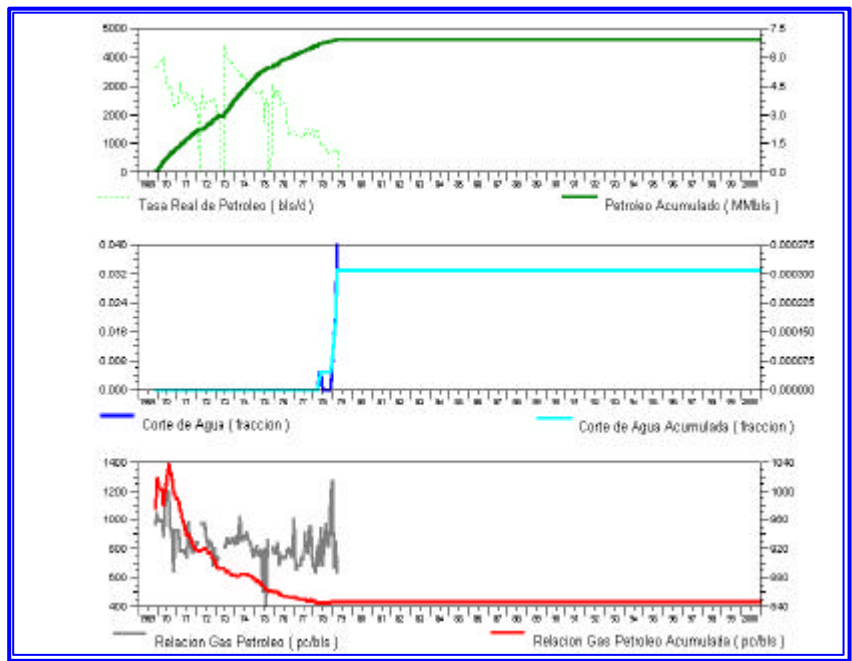


Figura V.5.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0129

V.2.1.6.- SVS 0131

El pozo SVS-0131 fue completado en marzo de 1970, como productor sencillo y a hueco abierto, de las calizas del Cretácico produciendo 5676 BPPD. El pozo continuo produciendo sin interrupción, para 1995 producía 256 BPPD. En julio de 1995 se realizo una limpieza en las perforaciones y la línea de flujo, observándose una producción de 351 BPPD. Para abril del 2001 el pozo estaba produciendo 89 BPPD.

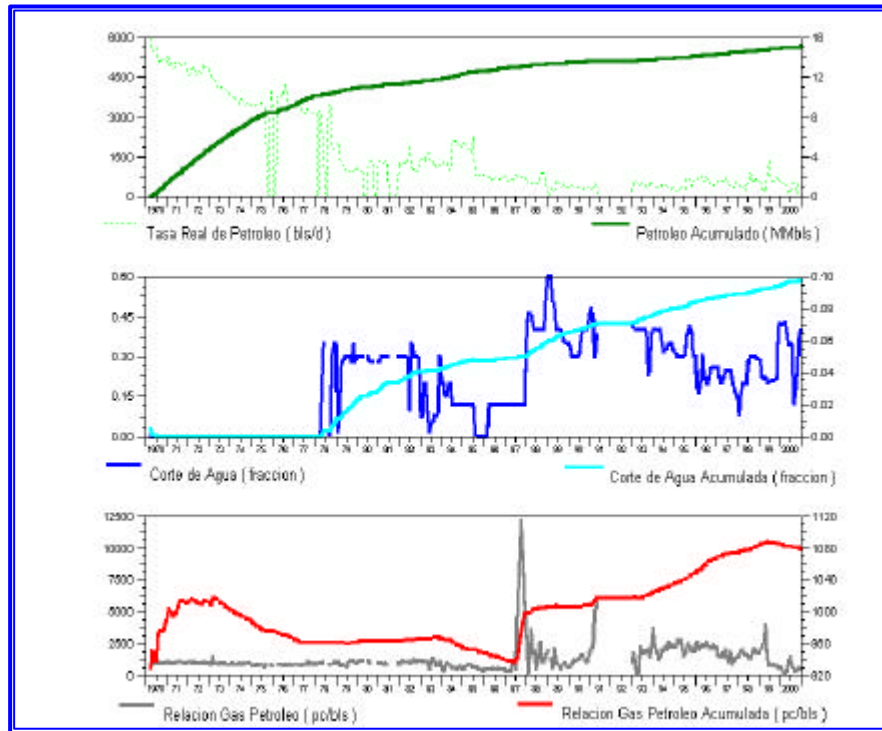


Figura V.6.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0131

V.2.1.7.- SVS 0149

Se completó en la formación LUCO (La Luna-Cogollo) en octubre de 1973 la producción inicial fue de 2696 BPPD, se efectuó una acidificación produciendo 5558 BPPD, el pozo se completó oficialmente en noviembre de ese año. La producción bajo rápidamente, siendo de 1238 BPPD para abril de 1974. En el periodo de Agosto de 1975 a Julio de 1976 el pozo se mantuvo cerrado, en noviembre de ese año el pozo fue cerrado de nuevo, hasta mayo de 1977, las medidas de producción luego de la apertura fueron 902 BPPD. El pozo se mantuvo produciendo entre 250-300 BPPD hasta marzo de 1981 cuando fue encontrado muerto. En julio de 1989 se efectuó un reacondicionamiento perforándose hoyo desviado. Actualmente se encuentra cerrado por orden del ministerio.

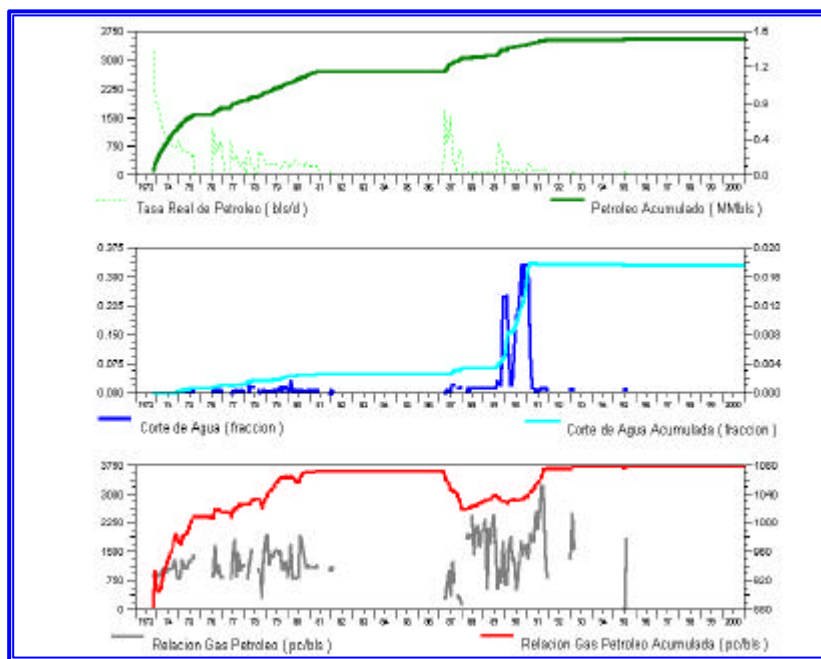


Figura V.7.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0149

V.2.1.8.- SVS 0153

El pozo fue completado inicialmente en julio de 1974, como productor sencillo en la Formación LUCO (La Luna – Cogollo), produciendo 2140 BPPD. En julio de 1975 se cierra por alta producción de agua. Entre mayo y julio de 1983 se realizó un reacondicionamiento donde se abandono las calizas del cretáceo recompletándose sencillo y selectivo en C-5.

V.2.1.9.- SVS 0162

El pozo SVS-162, fue completado mecánicamente en julio de 1977 con una prueba de producción inicial de 2172 BPPD en la formación LUCO (La Luna –Cogollo). Posteriormente se presentaron problemas de taponamiento y la producción declinó rápidamente. En agosto de 1977 se efectuaron trabajos de limpieza y en diciembre del mismo año se trató de efectuar una acidificación matricial, pero el pozo no fue capaz de aceptar fluido. Se realizó un reacondicionamiento, después de este trabajo, el pozo produjo 424 BPPD, pero nuevamente declinó la producción hasta quedar inactivo. En agosto de 1987 se trató de efectuar una prueba de inyectividad y el pozo no recibió. En agosto de 1990 se realizo un segundo reacondicionamiento donde se abandono las calizas del Cretácico y se recompleto el pozo en la formación Guasare y en la arena Santa Bárbara.

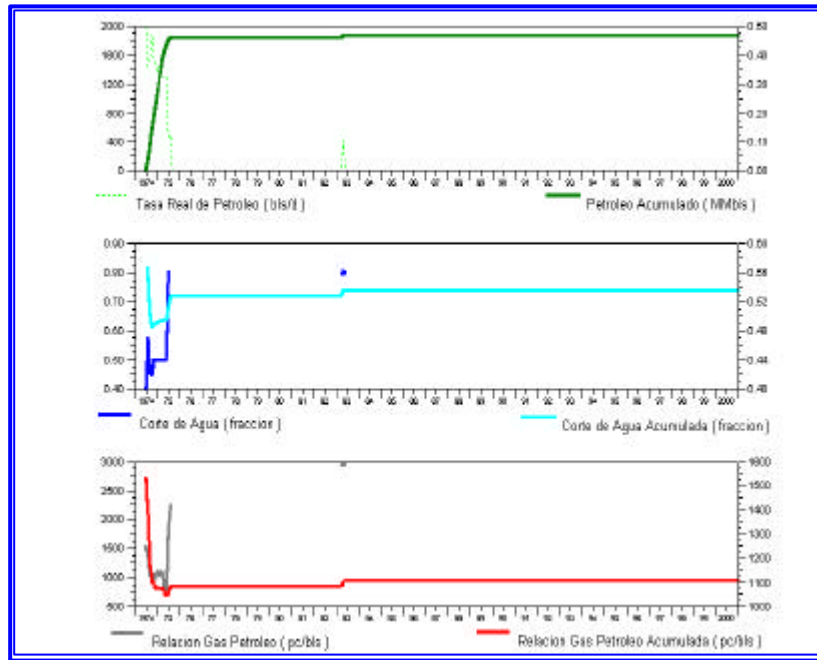


Figura V.8.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0153

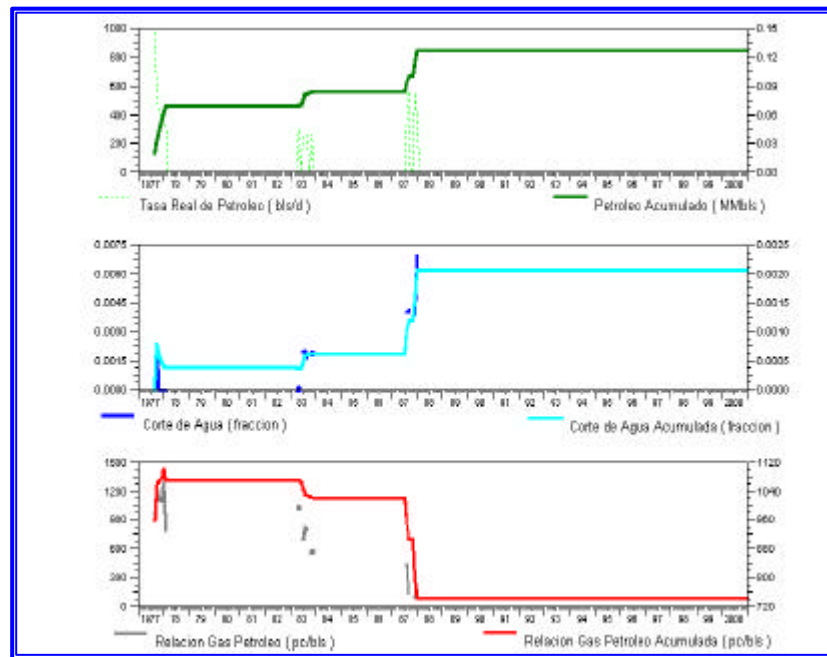


Figura V.9.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0162

V.2.1.10.- SVS 0176

El pozo SVS 0176, fue completado en septiembre de 1981 como productor sencillo de la formación Apón, se efectuaron pruebas de producción obteniéndose 3480 BPPD. En octubre de 1981 se abrió el pozo a producción y las pruebas de evaluación de potencial indicaron 2280 BPPD. En Julio de 1982 mediante el reacondicionamiento a cabria # 1 se recompletó el pozo sencillo en los mismos intervalos de la formación Apón, produciendo 1680 BPPD, un año después el pozo fue encontrado inactivo, debido a taponamiento de la tubería de producción. En octubre de 1983 se realizó el reacondicionamiento a cabria # 2 mediante el cual se recompletó el pozo en los mismos intervalos de la formación Apón produciendo 1103 BPPD. En diciembre de 1983, fue encontrado inactivo. Entre abril y mayo de 1984 se realizó el reacondicionamiento a cabria # 3 en el cual se recompletó el pozo sencillo en la formación Apón. En mayo de 1984 se abrió el pozo a producción y luego de fluir durante dos días, quedó inactivo. En octubre de 1986 se realizó el reacondicionamiento a cabria # 4 abandonándose el Cretáceo. El pozo se recompletó en la arena C-6S.

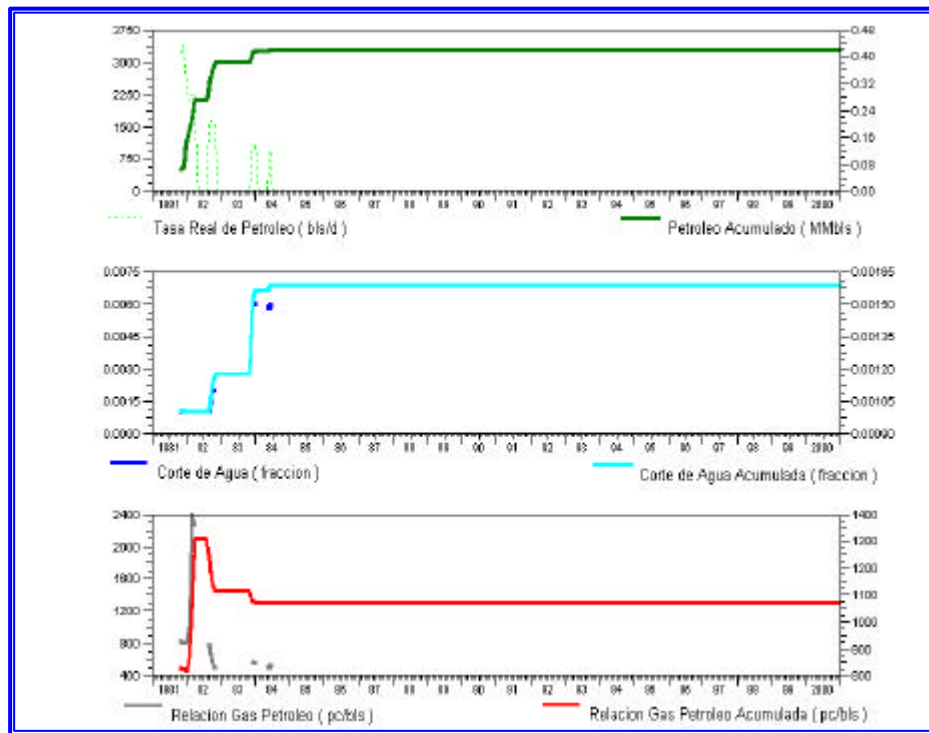


Figura V.10.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0176

V.2.1.11.- SVS 0198

El pozo SVS 0198 fue perforado y completado en Febrero de 1985, como productor sencillo no selectivo en la formación Apón. El mismo fue evaluado y resulto 100% agua salada, se recompleto en la zona inferior de Lisure, la cual produjo inicialmente 5300 BNPD. Al poco tiempo el pozo declinó la producción por taponamiento. Se realizaron varios trabajos de limpieza con solvente aromático y los mismos no dieron resultados y fue abandonada la zona inferior de Lisure y cañoneada la zona superior de la misma formación, la cual no fluyó y por ello fue cañoneada la formación Maraca, se evaluó dio 1592 BNPD, posteriormente la producción declinó a 636 BNPD. En vista de la baja tasa del pozo el 20/08/87 se le tomó un registro de restauración de presión y del análisis se determino un daño alrededor de la formación de 88%. En Octubre de ese año fue estimulado con ácido, después de lo cual produjo 6000BNPD, pero en poco tiempo el pozo declinó su producción a 895 BNPD. En Junio de 1996 se bajo tubería para crear un punto de inyección de gas, obteniéndose 210 BNPD. Actualmente el pozo produce 85 BNPD.

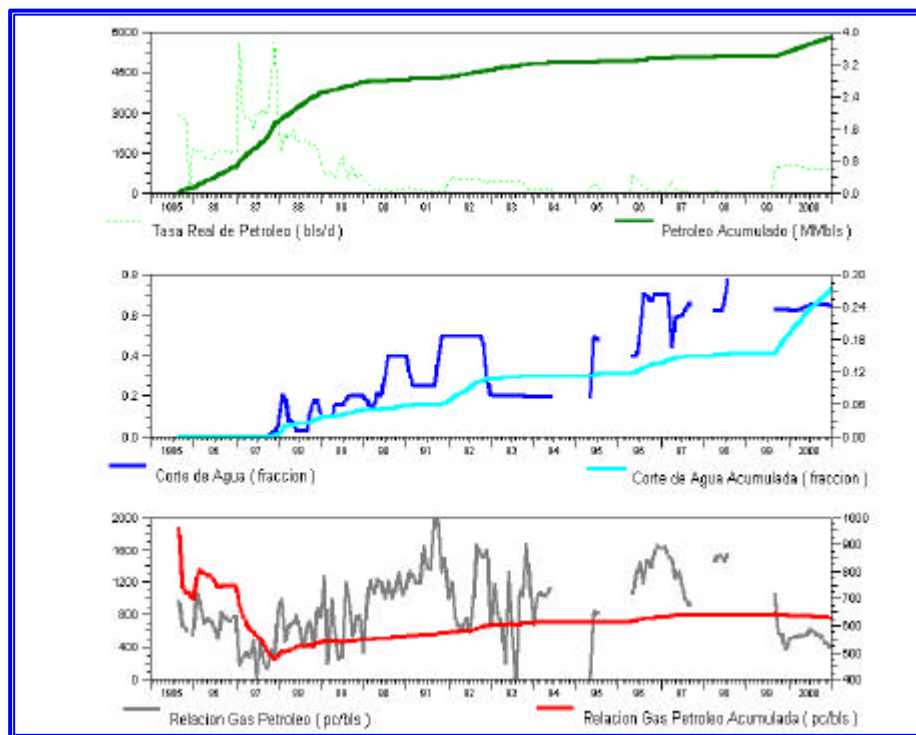


Figura V.11.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0198

V.2.1.12.- SVS 0205

El pozo fue completado en julio de 1986, en la formación Apón con una producción de petróleo limpio de 2391 bppd. En octubre de 1986 se aisló Formación Apón produciendo 2016 bppd. En mayo de 1987 se cañonearon las Formaciones Maraca y Lisure siendo su producción inicial de 2580 bppd. El pozo continuó en producción hasta enero de 1988, cuando fue cerrado por producción de fragmentos de formación. En febrero de 1988, se realizó una prueba de producción la cual dio 1200 bppd. En mayo de 1988 se cañoneó el intervalo 14210'-14228' de la formación Maraca. En junio de 1988 se abrió a producción y no fluyó. En agosto de 1988 se cañoneó adicionalmente la formación La Luna, después de una estimulación, el pozo produjo 1000 b/d, pero murió rápidamente. En enero de 1992 se detectó una obstrucción a 12680', la cual abarca toda la zona productora. Actualmente el pozo no aporta ningún fluido.

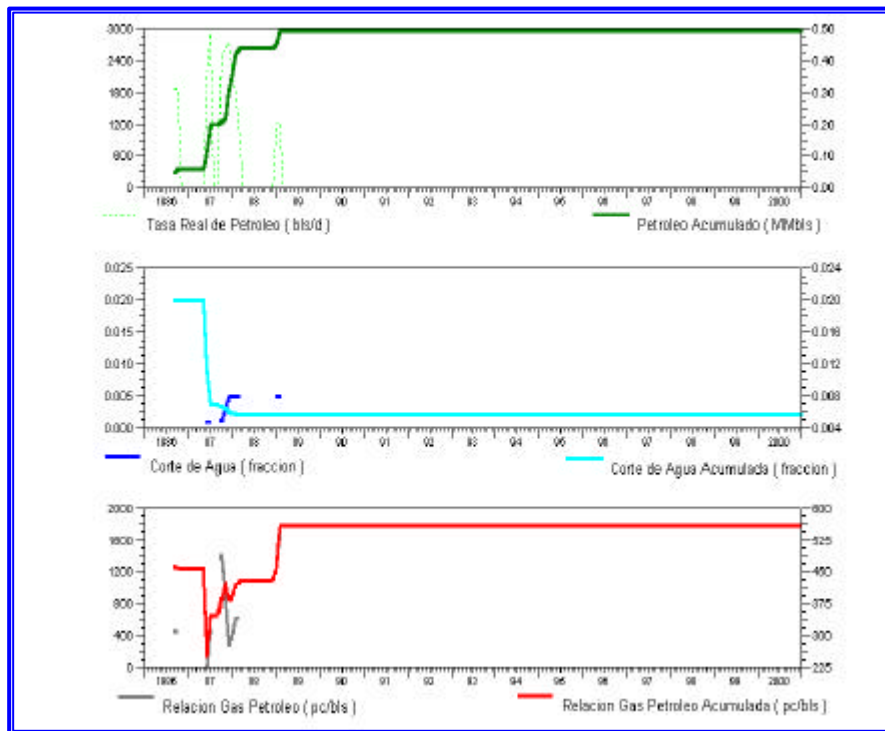


Figura V.12.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0205

V.2.1.13.- SVS 0213

El pozo SVS 0213 se completó en diciembre de 1986 a hueco abierto en las calizas del Cretáceo produciendo 4572 bppd. El pozo produjo estable hasta mayo de 1987, cuando incrementa el corte de agua, alcanzando en junio del mismo año un 50%. Continúa

produciendo con corte de agua estable en 50% hasta noviembre de 1988, cuando se incrementa a 60%. En junio de 1990 se realizó el reacondicionamiento N° 1, con el objeto de profundizar hasta el basamento, debido a que durante la perforación inicial no se alcanzó el objetivo original, el cual era penetrar en su totalidad las calizas del Cretáceo, a causa de las severas pérdidas de circulación a nivel de la formación Lisure. Además se pretendía eliminar la alta producción de agua, proveniente de las formaciones La Luna y Lisure, los resultados fueron negativos ya que se presentaron problemas de pérdida de circulación/ arremetidas que impidieron, por razones de seguridad profundizar el pozo hasta el basamento. Finalmente el pozo fue completado en el yacimiento Cretáceo, intervalos 13436'-13768', con la siguiente producción: 226 BPPD. El pozo se encuentra cerrado por orden del ministerio desde noviembre de 1991. El 27.02.92, se llevó a cabo una acidificación matricial sin obtener los resultados esperados. El 24.03.92 se chequeó la profundidad libre, encontrándose una obstrucción de piedras y arena a 13106', la cual abarca toda la zona productora.

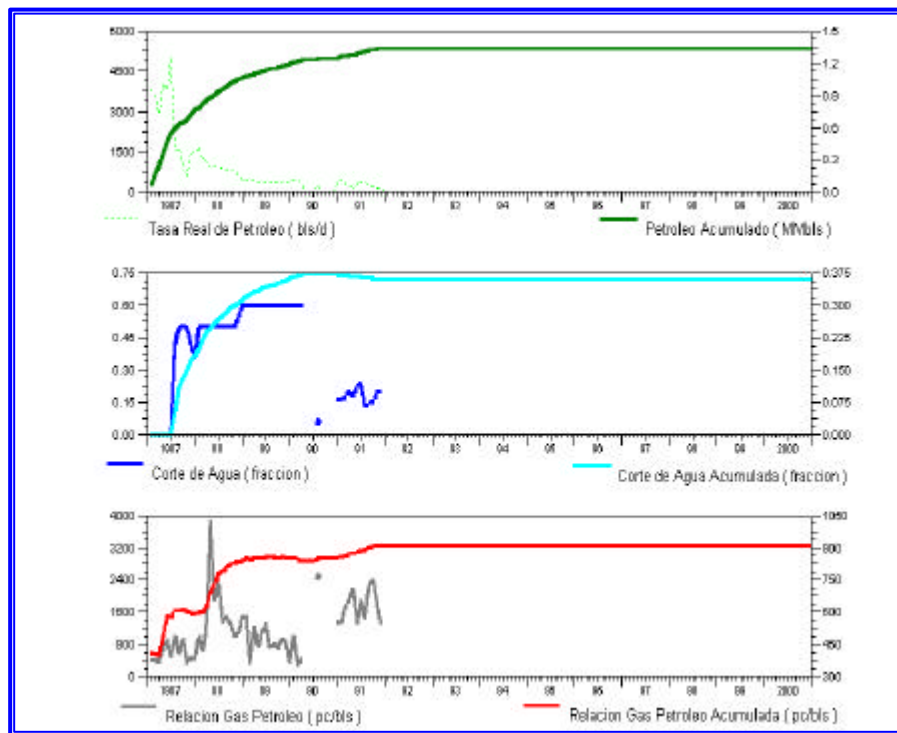


Figura V.13.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0213

V.2.1.14.- SVS0218

Completado mecánicamente en octubre de 1987, en las formaciones La Luna, Maraca y Lisure con una producción inicial de 1230 BPPD. El pozo SVS 0218 fue completado

oficialmente en noviembre de 1990 en las formaciones La Luna, Maraca y Lisure, la prueba oficial de completación arrojó una producción de 583 BPPD. El pozo continuó produciendo entre 60 y 100 BPPD hasta Enero de 1995 fecha en la que el pozo se encuentra inactivo. Actualmente el pozo se encuentra produciendo 18 BPPD.

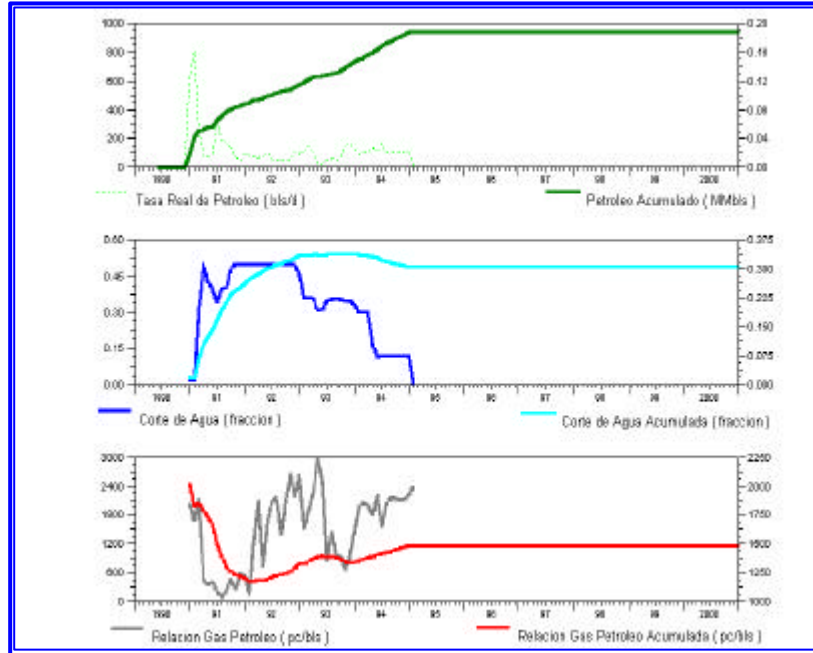


Figura V.14.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0218

V.2.1.15.- SVS 0225

El pozo SVS-0225, fue completado en diciembre de 1988 como productor sencillo, cañoneándose la formación Río Negro durante la evaluación de esta zona no hubo aporte de fluidos. En febrero de 1989 se aisló la formación Río Negro y se procedió al cañoneo de la formación Apón produciendo 2170 BPPD. En agosto de 1989 fue cerrado por alta concentración de H₂S. En enero de 1991 fue conectado a la planta Urdaneta García: abriéndose nuevamente a producción y mostrando el siguiente comportamiento: 3900BPPD en Enero y 2800 BPPD en Marzo. En Abril de 1991 se realizó limpieza con solvente y ácido, luego del trabajo se obtuvo una tasa de 2128 BPPD. En junio de ese año se limpió nuevamente con ácido obteniéndose: 2509 BPPD. En enero de 1992 fue cerrado por mantenimiento de la planta García. El pozo SVS-0225, para septiembre de 1993, tenía una producción de 800 bppd, produciendo por debajo del potencial, por presentar problemas de tipo mecánico, se le realizó una reparación a cabria, con el objetivo de eliminar obstrucción dentro de la tubería de producción por calizas y asfáltenos, y recompletarlo en las formaciones Apón, Lisure y Maraca. Desde febrero de 1994 el pozo se encuentra cerrado por alta producción de H₂S

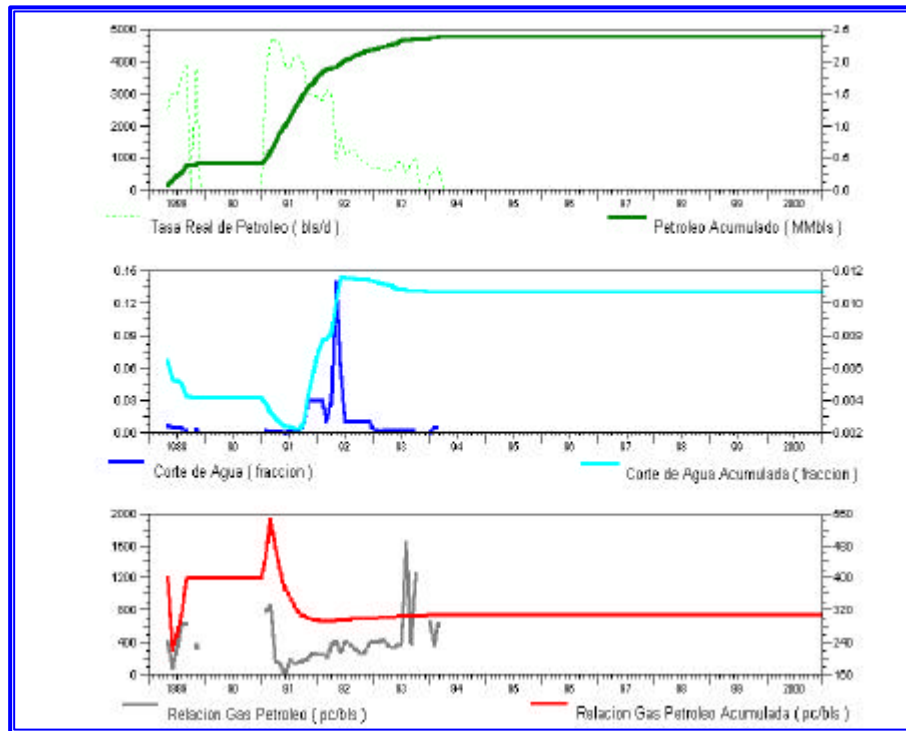


Figura V.15.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0225

V.2.1.16.- SVS 0229

El pozo SVS 0229 fue completado a hueco abierto como productor sencillo no selectivo el día 27/03/1989 en el yacimiento LUCO SVS-198, con una producción de 234 BPPD. En agosto de 1989 se realizó desvío con la finalidad de completar en el yacimiento Lisure SVS-198, inicialmente el pozo no fluyó por lo cual se le hizo estimulación. La inyectividad del pozo mejoró notablemente el resultado de la producción después del trabajo fue de 2200 BPPD. En septiembre de 1990, se realizó un fracturamiento con ácido, después produjo 734 BPPD. En marzo de 1993, se recompleto en La Luna; antes del cañoneo, se aisló las formaciones Maraca y Lisure. La evaluación del pozo luego de su recompletación fue: 107 BPPD. Para noviembre de 1993 el pozo no aporta ningún fluido. Para diciembre de 1995 este pozo presentaba una obstrucción a nivel del Cretáceo, la cual no fue posible eliminar. Se propuso perforar un hoyo desviado con la finalidad de reactivar el yacimiento C-6, SVS-0034 y adicionar un punto de drenaje en el yacimiento C-5, SVS-0066, previo abandono del Cretáceo.

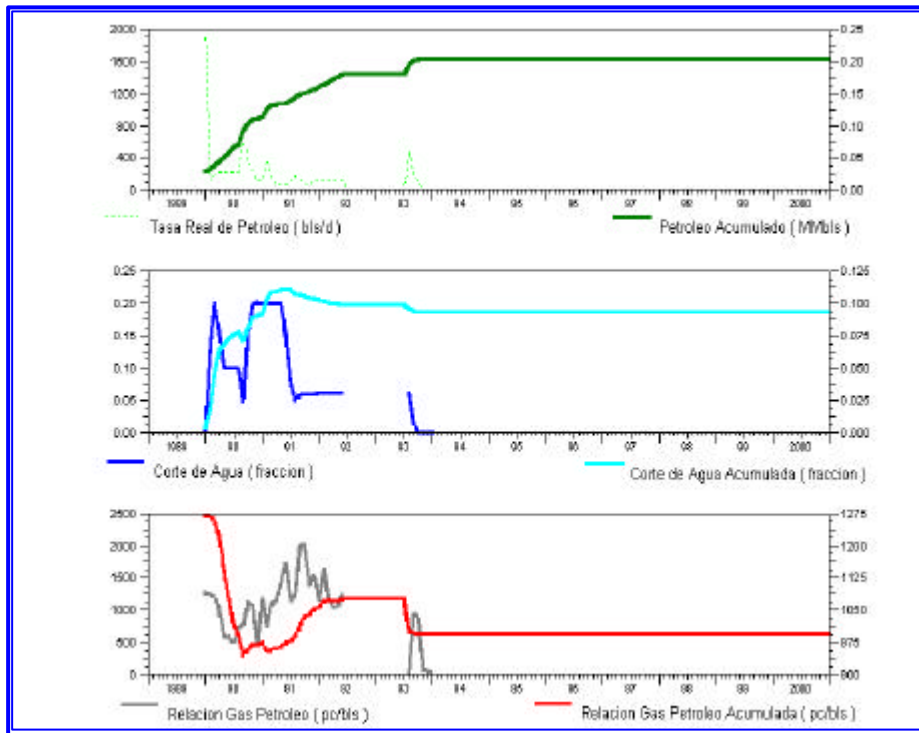


Figura V.16.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo SVS 0229

V.2.2.- Bloque XIV

V.2.2.1.- LMA 0066

El pozo LMA 0066, fue completado mecánicamente como productor sencillo en las calizas del Cretáceo en febrero de 1967. Su Completación oficial fue en abril de ese año, con una producción de 6114 BPPD. Continuó produciendo hasta octubre de 1971 cuando se observó una declinación en la tasa de producción: 2716 BPPD. En diciembre de 1971, se realizó un trabajo de acidificación matricial, el pozo produjo 4191 BPPD. El pozo continuó produciendo, declinando su producción gradualmente hasta 1977 (2611 BPPD). Posteriormente comenzó a producir agua, aumentando gradualmente hasta que en 1985, cuando producía 35% de agua salada. Desde 1985, el corte de agua comenzó a aumentar llegando a alcanzar una producción de 86% de agua salada en 1991. El pozo se encuentra cerrado por alto porcentaje de agua desde septiembre de 1998.

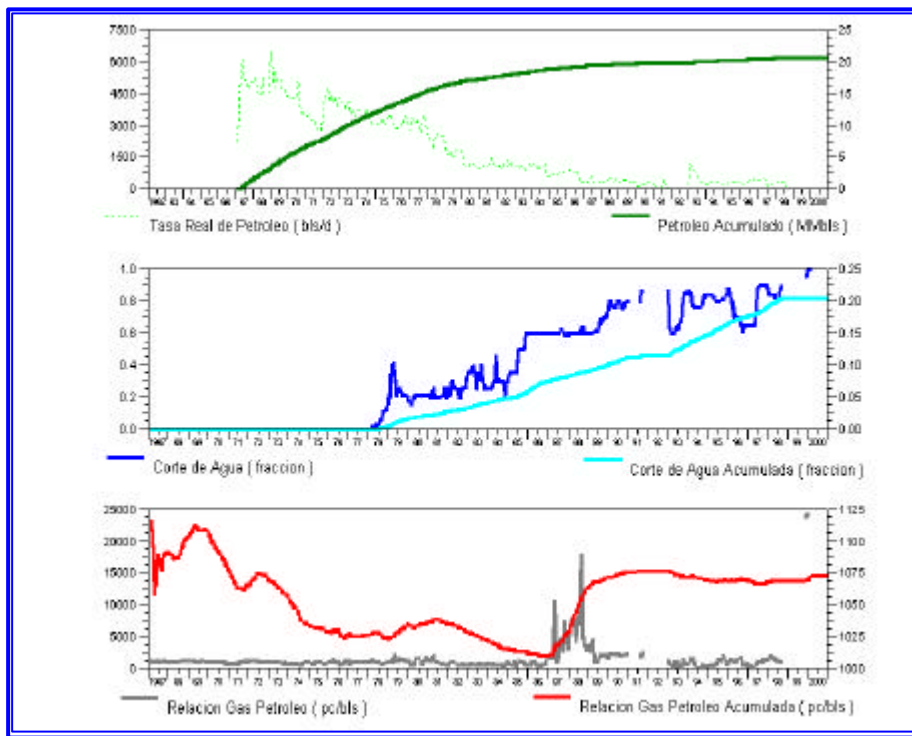


Figura V.17.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0066

V.2.2.2.- LMA 0072

El pozo LMA-0072 fue completado en julio de 1967, como productor sencillo y a hueco abierto, de las calizas del Cretáceo. Las pruebas de producción tomadas durante el período inicial de evaluación, indicaron 6604 BPPD. El pozo fue completado oficialmente en agosto de ese año. El pozo continuó produciendo mostrando descenso paulatino en la tasa de producción, para junio de 1974 producía 3720 BPPD. En junio de 1974 se realizó un tratamiento con ácido. Después de la acidificación el pozo continuó produciendo en forma similar, hasta diciembre de 1976, fecha en la cual comenzó a producir agua, el pozo incremento el porcentaje de agua, hasta alcanzar entre 60 y 70 % para abril de 1984. En julio de 1984 se realizó el primer trabajo a cabria donde se completó como productor sencillo de las calizas del cretáceo, a hueco abierto, en el intervalo 11570'-12069', produciendo 1052 BPPD. El pozo continua activo de los mismos intervalos, con las siguientes medidas de producción: 426 BPPD.

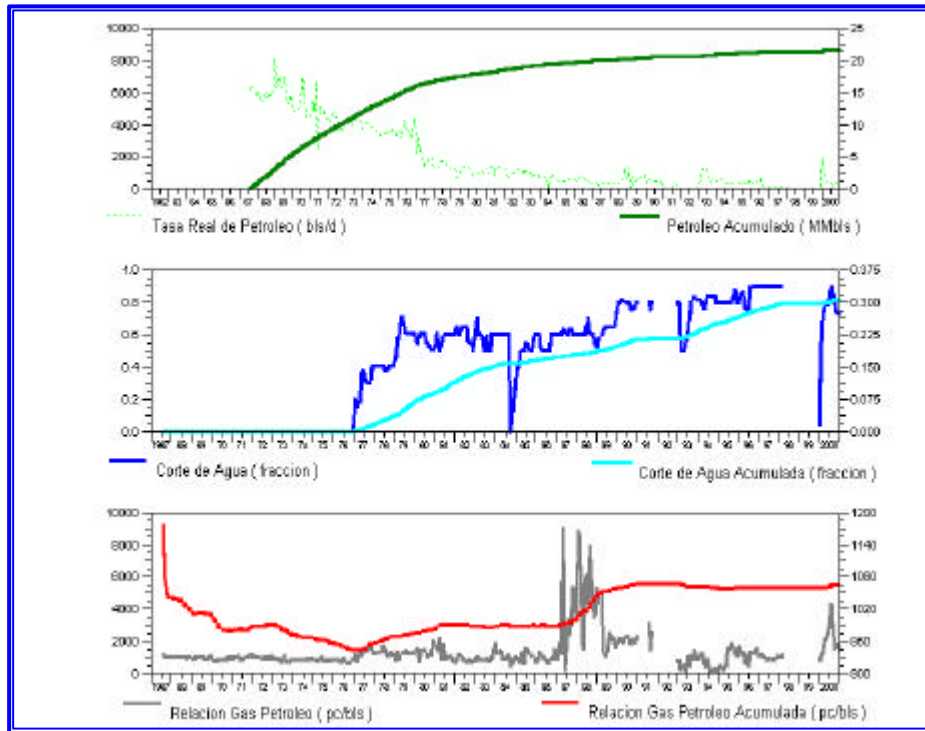


Figura V.18.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0072

V.2.2.3.- LMA 0074

El pozo fue completado inicialmente el 27/11/67 como productor sencillo de las formaciones de Río Negro, La Quinta y Grupo Cogollo, obteniéndose: 248 BPPD. En diciembre de 1967 se efectuó una acidificación con la cual el pozo produjo 3077 BPPD. Posteriormente el pozo declinó hasta 809 BPPD. En marzo de 1968 se efectuó otra acidificación obteniéndose: 4174 BPPD. El pozo volvió a declinar hasta 773 BPPD en junio de ese año, por lo que se efectuó otra acidificación pero no se obtuvieron resultados satisfactorios (378 BPPD). En agosto de 1969 se efectuó un trabajo a cabría durante el cual se completó el pozo como productor sencillo en la sección Socuy- La Luna produciendo 110 BPPD. En agosto de 1971 se efectuó un trabajo a cabría durante el cual se completó el pozo en las arenas C-4 y C-5.

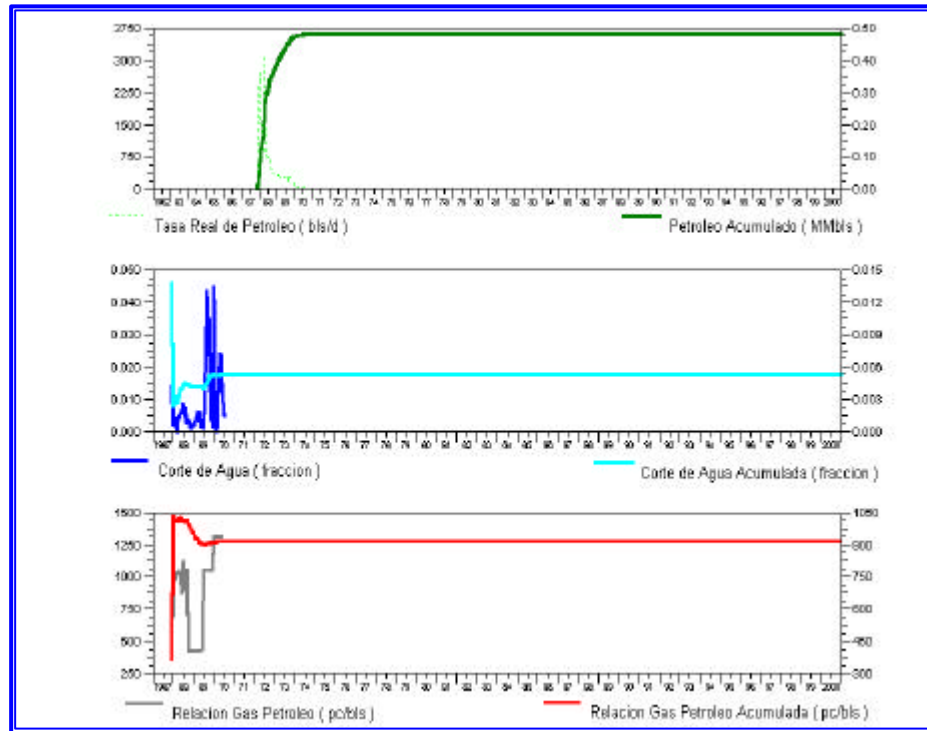


Figura V.19.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0074

V.2.2.4.-LMA 0077

Fue completado mecánicamente en abril de 1968 como productor sencillo en las calizas del Cretáceo. Durante la perforación del hoyo, el pozo fluyó, al tratar de controlarlo, se presentaron problemas de pérdidas de circulación, por lo que se decidió completarlo. El pozo fue acidificado y su prueba inicial dio 5401 BPPD. Para mayo de 1968 su producción era de 365 BPPD. En junio de ese año el pozo se detectó inactivo, por lo que fue sometido a reacondicionamiento, durante el mismo se produjo un pescado, razón por la cual el pozo fue desviado a 12365' y se perforó hasta 13557' completándose el pozo a esta profundidad. El pozo fue evaluado con resultados satisfactorios ya que produjo 6354 BPPD. En Marzo de 1970 fue reparado su última medida antes de esta reparación fue de 4244 BPPD. El pozo fue sometido a un trabajo de acidificación y produjo 3965 BPPD. El pozo comenzó a declinar y en diciembre de 1970, fue sometido a un trabajo de limpieza de tubería de producción, produciendo luego 2175 BPPD. En septiembre de 1973 fue sometido a reacondicionamiento, el pozo fue capaz de fluir 1130 BPPD, prontamente el pozo declinó su producción, quedando inactivo en marzo de 1974. Su última medida fue de 236 BPPD con 25% de AyS. En Diciembre de 1974 se efectuó un reacondicionamiento, el pozo produjo 149

BPPD con 8% de AyS. Fue sometido a un trabajo de acidificación y su producción apenas se incremento a 245 BPPD. Entre febrero y noviembre de 1975 se cerro y abrió en varias oportunidades pero su máxima producción fue de 258 BPPD. Entre agosto de 1979 y enero de 1980 fue abierto varias veces pero no fue capaz de fluir, en agosto de 1980 fue abierto y produjo 12 BPPD, fue cerrado. En abril de 1983 y junio de 1987 fue abierto y no fluyo, detectándose en esta ultima fecha obstrucción por asfáltenos. Actualmente el pozo permanece cerrado por encontrarse inactivo.

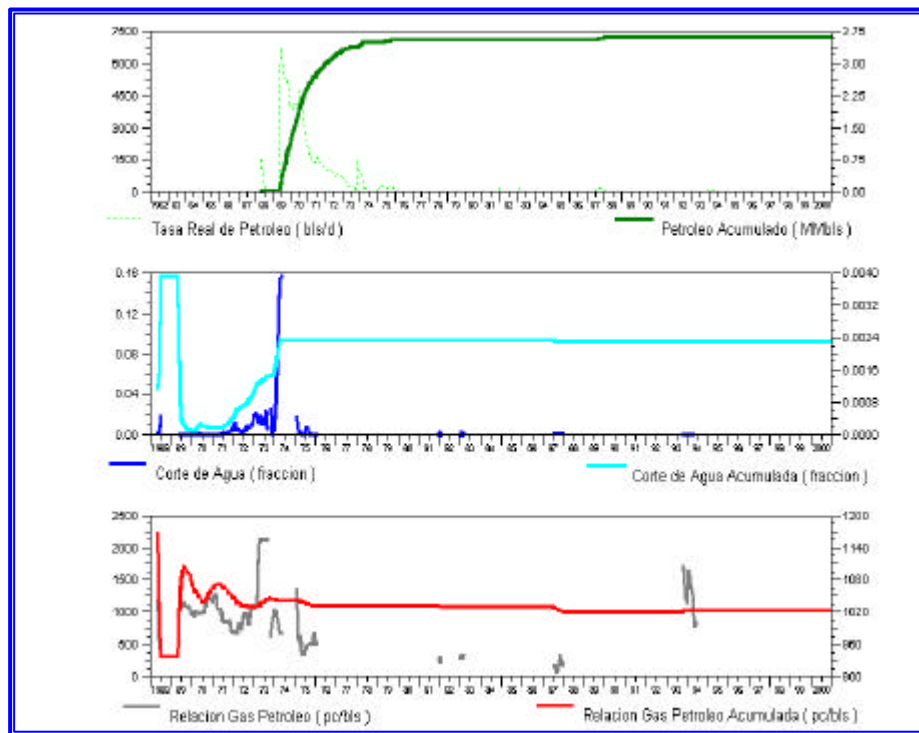


Figura V.20.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0077

V.2.2.5.- LMA 0078

El pozo fue completado mecánicamente el 25/11/69 como productor sencillo a hueco abierto en las formaciones La Quinta y Grupo Cogollo, obteniéndose: 529 BPPD. Se cañoneo a nivel de todo el cretáceo, se completo y sé probo como produciendo 1222 BPPD, completándose oficialmente el 27-01-70 con la siguiente prueba: 1413 BPPD. El pozo dejo de fluir en diciembre de 1970. Posteriormente, en abril de 1971, sé abrió a producción y probo 760 BPPD. El pozo dejo de fluir a finales de mayo de 1971. Desde julio hasta octubre de ese año se realizo un trabajo de limpieza el cual no tubo éxito. En Diciembre de 1971, se abandonaron las calizas del cretáceo. Se perforo el yacimiento C-4.

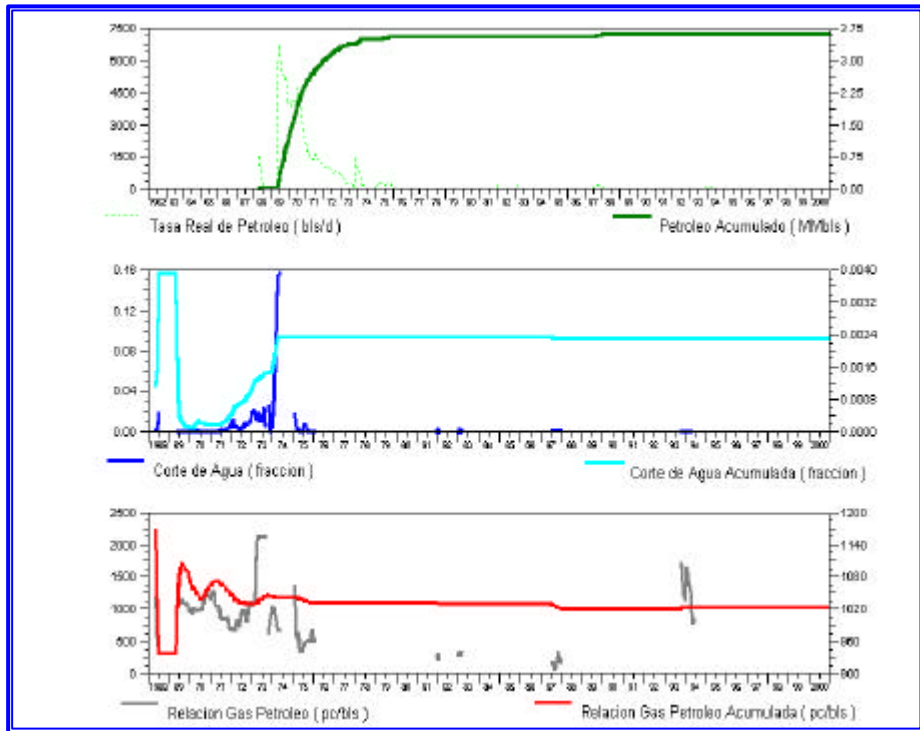


Figura V.21.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0078

V.2.2.6.- LMA 0080

El pozo fue completado en el Cretáceo a hueco abierto. Durante el período de evaluación el pozo produjo 563 BPPD. En julio de 1970 se efectuó una acidificación, después de la acidificación el pozo se probó obteniéndose 707 BPPD. En agosto de 1970 dejó de producir. En los meses de enero y marzo de 1971, se efectuaron operaciones de limpieza que resultaron infructuosas, por lo que finalmente el pozo quedó suspendido ya que no hubo éxito para restaurarlo a producción. En agosto de 1971 se probó el pozo y después de someterlo a otras actividades de limpieza, produjo 7 BPPD. En julio de 1972 se trató de realizar un reacondicionamiento, los intentos fueron infructuosos debido a que fue imposible asentar un tapón de cemento efectivo, quizás por la presencia de mucho gas de formación. Por tal razón se decidió completar el pozo en las arenas del Eoceno.

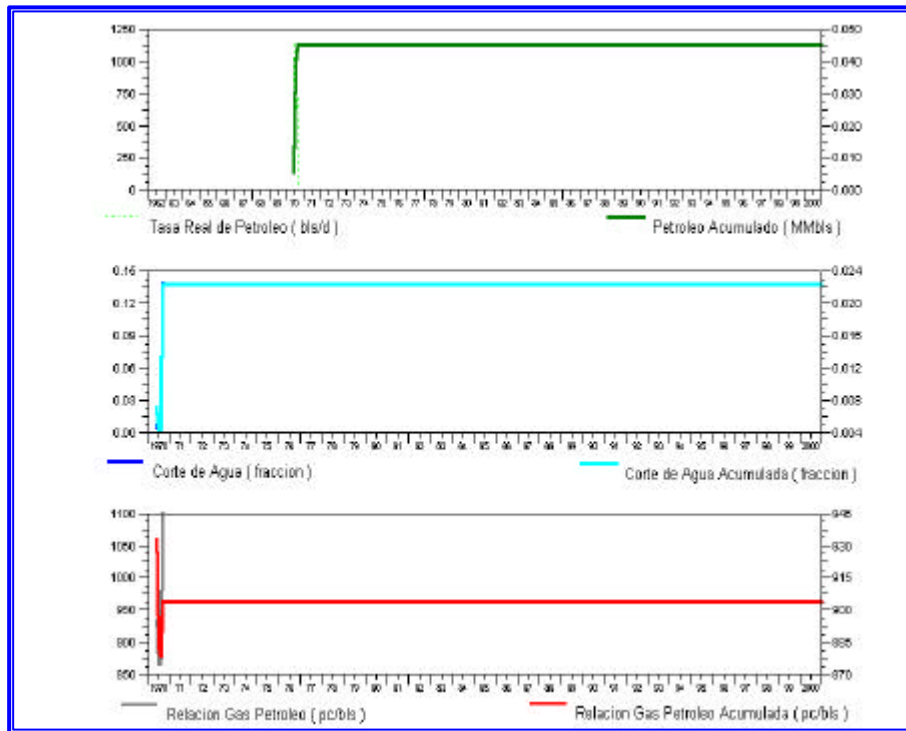


Figura V.22.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0080

V.2.2.7.- LMA 0090

El pozo LMA 0090 fue perforado originalmente en junio de 1976, teniendo como único objetivo las calizas del cretáceo, no pudiéndose completar en este objetivo ya que las pruebas de DST (Drill Stem Test) realizadas durante la completación, resultaron con 100% AyS. Debido a estos resultados, se abandonó la sección cretácica y se completó el pozo como productor sencillo de las arenas C-6 y Santa Bárbara.

V.2.2.8.- LMA 0092

El pozo fue completado a hueco abierto el 28 de octubre de 1978 en las calizas del Cretáceo. Se trató de inducir a producción durante varios días con resultados negativos. En noviembre de ese año se realizó un tratamiento con ácido obteniéndose los siguientes resultados por flujo natural: 1869 BPPD. Para Octubre de 1981 el pozo producía 145 BPPD. En Abril de 1982 se realizó un reacondicionamiento con el objetivo principal de recompletar el pozo en el Cretáceo, este no puede ser por daño en el revestidor. Se abandonó el Cretáceo, y se cañoneo la arena C-6.

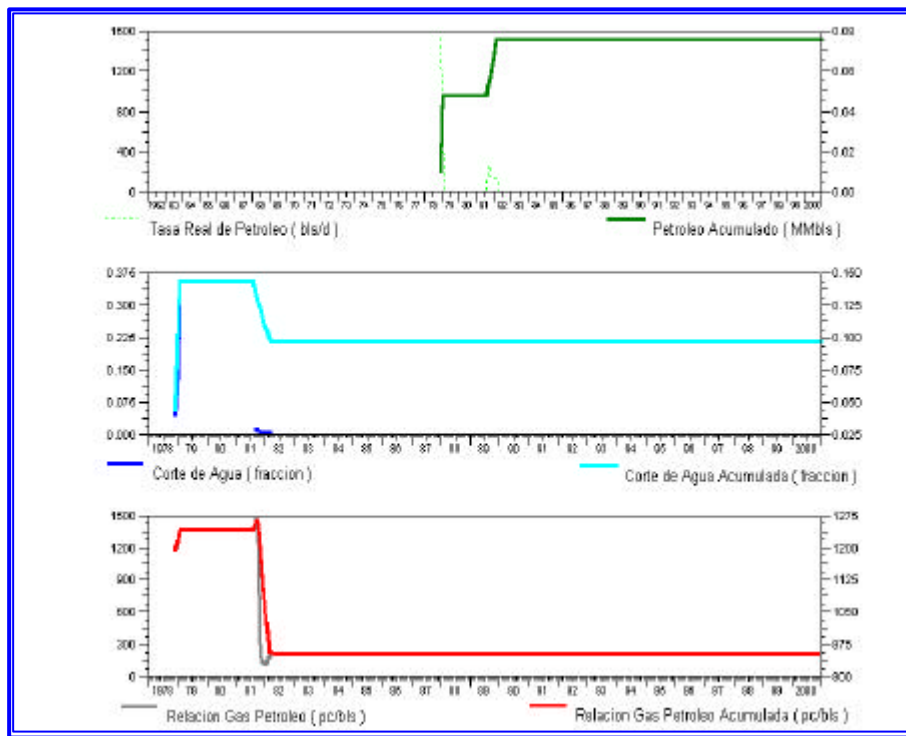


Figura V.23.- Diagrama del comportamiento de producción del pozo LMA 0092

V.2.2.9.-LMA 0093

El pozo fue perforado con el objetivo de investigar las posibilidades petrolíferas en las calizas del Cretáceo completándose mecánicamente el 06/05/80 con una prueba de producción que arrojó: 378 BNPD. En octubre de 1980 se trató de fluir el pozo a la estación de flujo con resultados negativos. Debido al comportamiento anormal del pozo en las calizas del Cretáceo originado por herramientas de perforación dejadas en el hoyo, se completó el pozo en el Eoceno.

V.2.2.10.-LMA 0094

El pozo fue completado en las calizas del Cretáceo. En febrero de 1981 se cañoneó la Formación Apón. El pozo no aportó producción; posteriormente se realizó una acidificación sin resultados positivos, ya que el pozo no fue capaz de fluir. En junio de ese año se cañoneó la Formación Maraca, fue estimulada con ácido; sin embargo, el pozo no aportó producción. Debido a los resultados obtenidos se recomendó el abandono de las calizas cretácicas.

La figura V.24 muestra el mapa de producción acumulada o mapa burbujas de los pozos Cretácicos de los Bloques IX y XIV del Lago de Maracaibo.

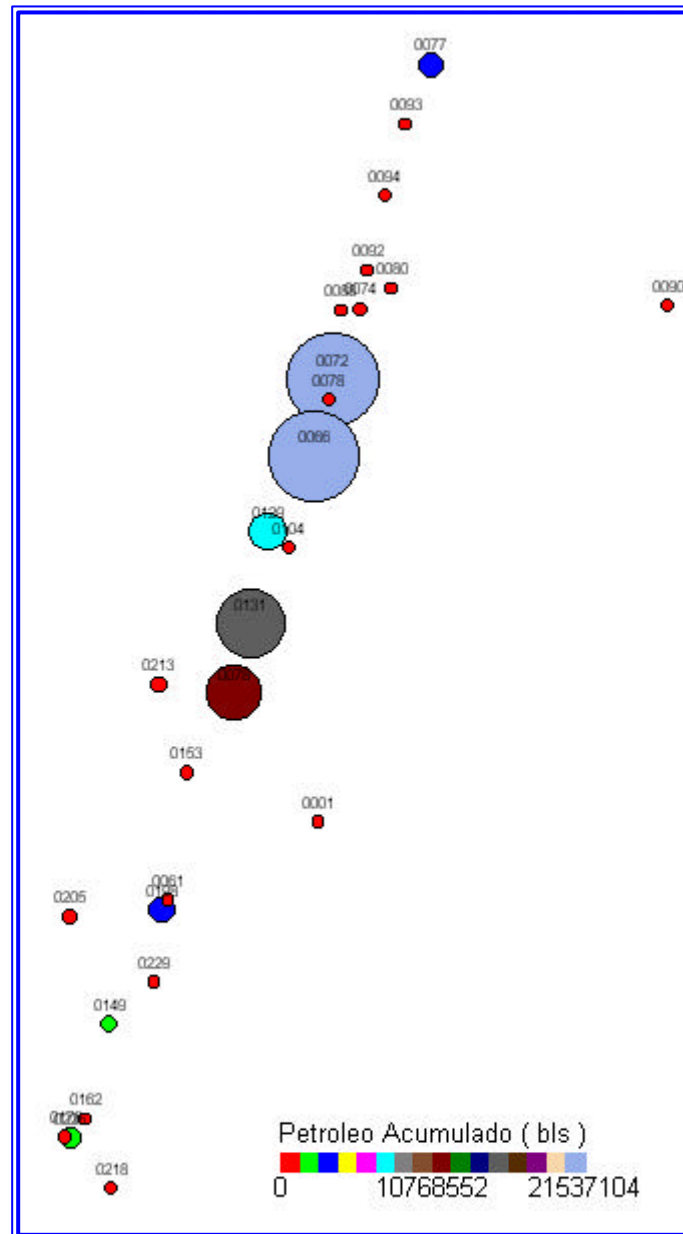


Figura V.24.- Mapa de burbujas de producción de los pozos del Cretácico de los Bloques IX y XIV del Lago de Maracaibo

VI.- ÁREAS PROSPECTIVAS Y CÁLCULO DE RESERVAS

VI.1.- ÁREAS PROSPECTIVAS

A partir de la interpretación estructural, los atributos sísmicos, los mapas de pseudo propiedades y el comportamiento de producción se identificaron dos áreas prospectivas a nivel del Cretáceo. Las zonas prospectivas definidas se especifican a continuación:

Área A: Se ubica al NE del Bloque IX, SO del Bloque XIV en el flanco Oeste de la falla Lama-Icotea y esta limitada por las falla Lama-Icotea y por dos fallas normales con buzamiento hacia el NO y rumbo NE-SO.

Área B: Se localiza en la zona central del área de estudio en el Bloque IX, Esta área se puede dividir en dos, una ubicada en el flanco Oeste de la falla Lama-Icotea y esta limitada por la falla Lama-Icotea y una falla normal, ubicada en la parte mas baja de la estructura, de buzamiento hacia el Oeste. La otra área se ubica en el flanco Este de la falla Lama-Icotea y se encuentra limitada por la falla Lama-Icotea y dos fallas inversas de buzamiento hacia el SE, todas las fallas nombradas tienen rumbo NE-SO.

Tomando en cuenta el espaciamiento entre pozos para el Cretáceo (1200m) y el área de las zonas antes descritas se proponen siete nuevas localizaciones ubicadas tres en el área A y cuatro en la B (figura VI.1). La ubicación de estas localizaciones en coordenadas U.T.M. se presentan a continuación:

A.- X = 210010; Y = 1095257

B.- X = 211130; Y = 1095768

C.- X = 212988; Y = 1101797

D.- X = 210628; Y = 1098223

E.- X = 211854; Y = 1101434

F.- X = 212710; Y = 1104316

G.- X = 212435; Y = 1098381

VI.2.-CÁLCULO DE RESERVAS

A continuación se presenta el cálculo de las reservas recuperables para las áreas prospectivas antes propuestas. El mismo se realiza a partir de las siguientes ecuaciones:

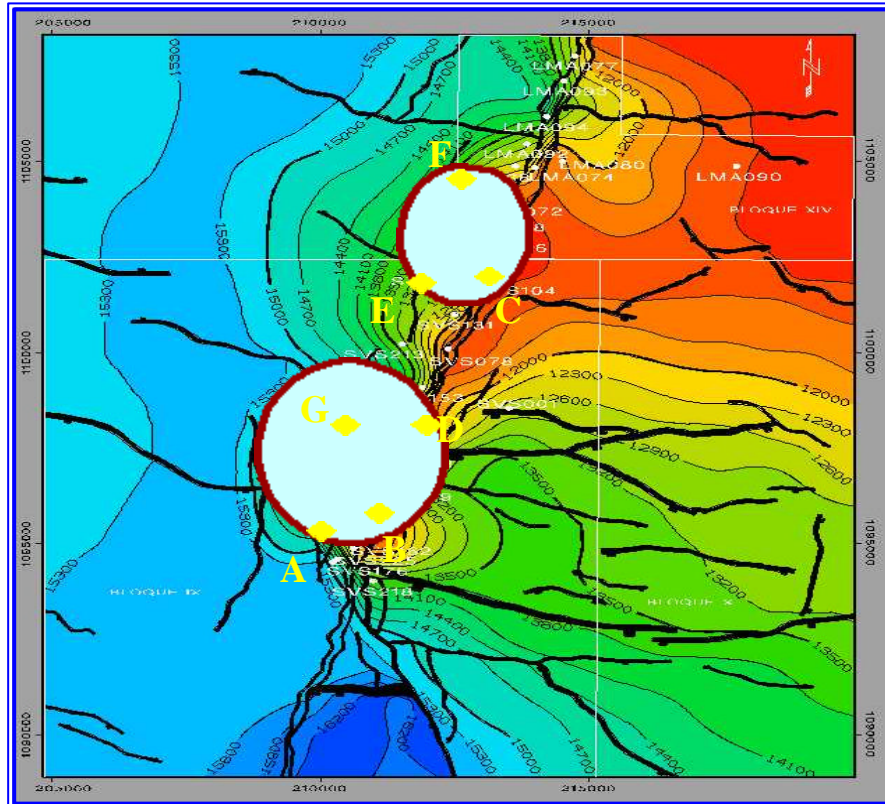


Figura IV.1.- Mapa estructural del Miembro Socuy donde se muestran las áreas prospectivas y las nuevas localizaciones

Volumen de Reservas Recuperables:

$$V_r = F_r * POES$$

Donde:

Fr: Factor de recobro

POES: Petróleo Originalmente en Sitio.

Petróleo Originalmente en Sitio (POES):

Donde:

$$POES = \frac{7758 * \text{ÁREA} * \text{ESPEJOR} * f * S_o}{B_o}$$

Área: es el espacio areal del yacimiento en acres

Espesor: caliza neta petrolífera en el intervalo de interés

So : saturación de petróleo

ϕ : porosidad

Bo: factor volumétrico

7758: constante de conversión de unidades a barriles

VI.2.1.- Cálculo tipo:

Área A:

$$\text{Área} = 2515,17 \text{ Acres}$$

$$\text{Espesor} = 28,5 \text{ pies}$$

$$S_o = 60 \%$$

$$\phi = 4\%$$

$$B_{oi} = 1,57$$

$$POES = (7758 * 2515,17 * 28,5' * 0,602 * 0,04) / 1,57 = 8529406,44$$

$$V_r = 0,23 * 8529406,44 = 1961763,48 \text{ barriles en reservas recuperables.}$$

Las siguientes tablas muestran un resumen de los parámetros petrofísicos y el cálculo de reservas, realizados para las áreas prospectivas propuestas:

Área Prospectiva	Porosidad (%)	Saturación de Hidrocarburo (%)	Área (Acres)	Espesor (Pies)	Factor Volumétrico (Boi)	Factor de Recobro (%)
A	4	60	2515,17	28,5	1.57	23
B	4	60	4851,80	28,5	1.57	23

Tabla VI.1.- Parámetros petrofísicos utilizados en el cálculo de las reservas

Área Prospectiva	POES (Bls)	Reservas Recuperables (Bls)
A	8529406,44	1961763,48
B	15195153,33	3494885,27

Tabla VI.2.- Petróleo en sitio y reservas recuperables estimadas de las áreas prospectivas.

Dando un total de 5456648,75 barriles en reservas recuperables.

Los valores petrofísicos utilizados para estos cálculos son valores promedio, estimados de 14 de los 27 pozos perforados en el área de estudio.

CONCLUSIONES

Se observan claramente dos direcciones de fallamiento, NNE-SSO y E-O, asociadas a cuatro eventos tectónicos principales, que son: la fase tensional del Jurásico-Cretácico, la fase tensional del Eoceno Temprano a Medio, fase compresiva del Eoceno Tardío y fase compresiva asociada al levantamiento de Los Andes Venezolanos.

El área esta dominada por la falla Lama-Icotea de rumbo NNE-SSO y buzamiento hacia el oeste el cual cambia en la zona sur del área hacia el este, donde junto a la falla VLE-400 forman una depresión. La falla Lama-Icotea divide el área en dos grandes bloques, un graben en el flanco oeste y un horts en el este. La estructura en el flanco oeste de la falla Lama-Icotea es un monoclinal de rumbo NNE-SSO y buzamiento hacia el Oeste.

En el flanco oeste la falla Lama-Icotea y una falla antitética paralela a la misma, producen bloques en forma de cuña los cuales encierran anticlinales que fueron levantados por compresión.

El uso de atributos sísmicos estructurales es fundamental a la hora de definir el marco estructural de un área, siendo el mas efectivo el cubo de varianza por no depender o verse manipulado o influenciado por el interprete.

Los mapas de atributos sísmicos basados en volumen respondieron principalmente a patrones estructurales observándose en los mapas de amplitud valores bajos y en los de frecuencia valores altos en las zonas altamente fracturadas y viceversa en las poco fracturadas, lo cual se corrobora al ser compararse dichos mapas con los mapas de atributos estructurales.

La utilización de nuevas técnicas de interpretación como Similitud y Estimación Lineal Sencilla (LPM) permitió ubicar con más exactitud posibles zonas prospectivas.

Se diferencian 2 áreas prospectivas desde el punto de vista de atributos y de producción ubicadas al SO del Bloque XIV-NE del Bloque IX y al centro del área de estudio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la revisión de las siguientes localizaciones las cuales muestran gran prospectividad desde el punto de vista sísmico:

A.- Coordenadas U.T.M. X = 210010; Y = 1095257

B.- Coordenadas U.T.M. X = 211130; Y = 1095768

C.- Coordenadas U.T.M. X = 212988; Y = 1101797

D.- Coordenadas U.T.M. X = 210628; Y = 1098223

E.- Coordenadas U.T.M. X = 211854; Y = 1101434

F.- Coordenadas U.T.M. X = 212710; Y = 1104316

G.- Coordenadas U.T.M. X = 212435; Y = 1098381

En futuros trabajos de interpretación sísmica se recomienda utilizar los levantamientos sísmicos originales cargados a 32 bits, lo cual ayudará a una mejor definición aún de los marcos estructurales presentes en el área.

Existen diferencias entre la correlación geológica y la profundidad de ciertos reflectores sísmicos en los datos de algunos pozos del área, lo que sugiere una revisión y actualización de la base de datos geológicos antes de cualquier estudio a realizarse posteriormente.

Realizar una evaluación petrofísica ya que es indispensable disponer de una información petrofísica completa para poder obtener resultados confiables con las nuevas técnicas utilizadas: LPM-Similitud.

Usar otras herramientas tales como la inversión sísmica con la cual se pueden obtener distribuciones espaciales de velocidad e impedancia acústica que representen variaciones laterales de las propiedades petrofísicas o la geoestadística con la cual se puede corroborar y/o mejorar lo observado en los mapas.

BIBLIOGRAFÍA

- AUDEMARD, F. (1991). "Tectonics of Western Venezuela." Tesis Doctoral, Rice University, Houston Texas, USA.
- BARTOK, P., T. J. A. REIJERS y I. JUHASZ (1981). "Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo basin, Venezuela: Sedimentology, Diagenesis and Petrophysics". Am. Assoc. Petr. Geol. Bull
- BROWN, A. (1996). "Interpretation of three-dimensional seismic data". AAPG memoir 42. Cuarta edición. Dallas, Texas.
- BROWN, A.(1999). "Interpretation of three-dimensional seismic data". SEG Investigation in Geophysics N°9. Quinta edición.
- BUENO, E. y J. PINTO (1994). "Interpretación estructural y caracterización mediante atributos sísmicos en el Cretácico del Bloque IX". Memorias VII Congreso Venezolano de Geofísica.
- BUENO, E. y J. ZUBIZARRETA (1992). "Interpretación estructural del levantamiento sísmico tridimensional de Lama norte, Lago de Maracaibo". Memorias VI Congreso Venezolano de Geofísica.
- CHEN, Q. y S. SIDNEY (1997). "Advances in Seismic Attribute Technology". 67th Ann. Internat. Mtg. SEG, Expanded Abstracts: INT 7.5.
- COOKE, D. ; A. SENA; G. DONNELL; T. MURYANTO y V. BALL (1999). "What is the best seismic attribute for quantitative seismic reservoir characterization?". 69th Ann. Internat. Mtg. SEG, Expanded Abstracts: SRC 1.8.
- CUSHMAN, J. A. and H. D. HEDBERG (1941). "Upper Cretaceous foraminifera from Santander del Norte Colombia". Cushman Lab. Foram. Res., Contrib.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.; I. DE AROZENA y X. PICARD (1980). "Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas". Caracas, Ed. Foninves, Tomos I y II.
- GUÉDEZ, V. (1988). "Evaluación petrofísica de pozos Cretácicos Bloques IX y XIV Lago de Maracaibo". Maraven, S.A. Caracas.
- HENRÍQUEZ, N. (2000). "Técnicas de Correlación Atributos Sísmicos-Parámetros Petrofísicos: Revisión e Implementación Campo Centro Lago". Trabajo Especial de Grado. USB. Sartenejas, inédito.
- LEÓN, R. (1975). "Intervalos productores del Cretácico Campo Urdaneta Este, Lago de Maracaibo". Primeras Jornadas Venezolanas de Geología, Minería y Petróleo. Maracaibo.

- “Léxico Estratigráfico de Venezuela - L.E.V” (1999). Editado por el Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN).
- LUGO, J. y P. MANN (1993). “Jurassic-Eocene tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela”. AAPG Memoir Petroleum Basins of South América. Gerencia de Exploración. Informe Técnico.
- LUGO, J. (1991). “Cretaceous to Neogene Tectonic Control on Sedimentation: Maracaibo Basin, Venezuela”. Tesis Doctoral. The University of Texas at Austin, USA.
- RENZ, O. (1977). “The lithologic units of the Cretaceous of western Venezuela”. V Cong. Geol. Ven.
- ROD, E. y W. MAYNC (1954). “Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela”. A.A.P.G. Bull.
- SCHLUMBERGER (1997). “Evaluación de Pozos”, Venezuela.
- SELLIER DE CIVRIEUX, J. M. (1952). “Estudio de la microfauna de la sección-tipo del miembro Socuy de la Formación Colón, distrito Mara, estado Zulia”. Boll de Geol. (Venezuela).
- SHERIFF, R. (1999). “Encyclopedic dictionary of exploration geophysics”. Tercera edición SEG.
- SHERIFF, R. (1975). “Factors affecting seismic amplitudes”. Geophysical Prospecting.
- SOKAL, R y F. ROHLF (1969). “Tablas Estadísticas” W.H. Freeman and Company. San Francisco.
- SUTTON, F.A. (1946). “Geology of the Maracaibo Basin”, Venezuela: Am. Assoc. Petr. Geol., Bull.
- VAN ANDEL, T. H. (1958). “Origin and classification of cretaceous, Paleocene and Eocene Sandstones of Western Venezuela”. Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull.
- VERENZUELA, X., BUENO, E., OQUENDO, O. Y AZPIRITXAGA I. (1995). “Estudio integrado para la caracterización del grupo Cogollo del Cretácico del Bloque IX/XIV del Lago de Maracaibo”. Maraven, S.A. Caracas.
- ZABALA, A. (1999). “Interpretación sísmica estructural 3D en el área de Tomoporo, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Estado Zulia”. Trabajo Especial de Grado, departamento de Geofísica. UCV. Caracas, inédito.