

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, EDO.ZULIA.

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el **Br., Delmiro Prieto
Rodriguez** para optar por el título
de Ingeniero Geólogo.

Caracas, noviembre de 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, EDO.ZULIA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rafael Falcon.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Albenis Vilches.

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el **Br. Delmiro Prieto
Rodriguez.** para optar por el título
de Ingeniero Geólogo.

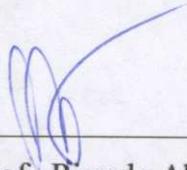
Caracas, noviembre de 2003

Caracas, noviembre de 2.003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Delmiro Prieto, titulado:

“ Recaracterización del Modelo Estructural del Campo Mara Este. Cuenca de Maracaibo. Edo. Zulia.”

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



Prof. Ricardo Alezones
Jurado



Prof. Jorge Mora
Jurado

Ing. Albenis Vilches
Tutor Industrial

Prof. Rafael Falcón
Tutor Académico.

DEDICATORIA

A Dios por estar presente en todo momento y fortalecerme para seguir adelante.

A mi familia, en especial a mi madre, por todo el apoyo y la confianza que deposito en my y por perseverar conmigo en el logro de mis metas.

A mis hermanos Pury y Jose por ser mí ejemplo a seguir.

A todos mis amigos.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería de la UCV.

A la corporación PDVSA.

Delmiro Prieto

Agradecimientos

A Dios, por haberme dado la paciencia, sabiduría y el entendimiento que hoy me están permitiendo optar al título de Ingeniero Geólogo. Por todas las cosas maravillosas que me ha brindado, por haber puesto en mi camino a gente estupenda: Mis padres, mis hermanos y mis amigos. Por acompañarme y no desampararme nunca, por estar siempre a mi lado, por lo que soy, por lo que seré...

A mis padres, por todas las cosas que hemos vivido. A ti mamá, por todo el apoyo, por confiar ciegamente en mí, por tu valentía de enfrentar el mundo por nosotros... A ti papá, porque sé que estarás muy orgulloso de tu hijo. Me hubiese encantado poder disfrutar de tu presencia física en estos momentos de alegría, pero quiero que sepas que siempre has estado en mi corazón, te recuerdo siempre. Mi memoria subjetiva y selectiva recuerda todos los gratos momentos que viví contigo, mi infancia a tu lado... todos, recuerdos hermosos de un pasado entrañable que por más que queramos no volverá jamás. Hoy a varios años de tu partida, seguimos recordándote. Te extraño hoy, te extrañaré mañana y te extrañaré por siempre mi viejo lindo. A mis padres, los adoro!

A mis hermanos: Pury, sin ti hubiese sido imposible la culminación de mi carrera y José Manuel por confiar en mí, a ambos por demostrarme siempre que mis triunfos los enorgullece. Las cosas no han sido nada fáciles para nosotros desde la partida de nuestro padre, pero aquí estamos, demostrándole a nuestro viejito que no lo defraudaremos nunca. Los adoro a todos!

A Francisco y a Richard, por todo el apoyo brindado a lo largo mi carrera, por acompañarme siempre y por haberme abierto las puertas de su hogar. Les estaré eternamente agradecido.

A mis amigas Aried y Adriana porque fue una muy grata experiencia el haber realizado mi carrera con ustedes

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Albenis Vílchez por servirme de guía y apoyo para la realización de este trabajo. Por sus sabios consejos, por su incondicionalidad, por confiar en mi, por haberme enseñado que el profesionalismo está por encima de todo. Por el cariño mostrado. Muchas gracias, le estaré agradecido por siempre. Lo aprecio muchísimo y espero seguir contando con su apoyo.

A la señora Marcelina por su apoyo incondicional y su gran ayuda durante mi permanencia en OleoLuz.

A mis compañeros de OleoLuz por hacerme sentir como en casa fuera de casa, a todos muchísimas gracias, los recordare siempre.

A OleoLuz por haberme brindado la oportunidad de culminar mis estudios de manera brillante y profesional, a todo su personal les estaré eternamente agradecido.

A mi gran UCV, mi máxima casa de estudio por siempre! A mis profesores ...

Prieto, Delmiro.

RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, EDO. ZULIA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rafael Falcón. TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Albenis Vilches. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Año 2003, 159p.

Palabras clave: Cuenca de Maracaibo, Campo Mara Este, Modelo Estructural, Geología Estructural, , Mapa estructural.

Resumen: El Campo Mara produce de tres Yacimientos: Eoceno-Paleoceno, Cretácico y basamento Paleozoico.

Su estructura consiste en un domo de rumbo orientado principalmente NE, cortado por un sistema de fallas longitudinales transcurrentes sinestrales de ángulo alto y de rumbo paralelo a subparalelo al eje anticlinal, delimitando bloques de forma elongada. Éstos últimos están a su vez cortados por dos sistemas de fallas secundarios perpendiculares entre sí y ubicados unos en cuadrantes de distensión y otros en cuadrantes de compresión.

La actividad tectónica origino la deformación a lo largo de la zona de fractura, movimientos horizontales y rotacionales originaron una estructura floral delimitada por fallas con saltos verticales producidos por las sinuosidades que presentan las fallas longitudinales transcurrentes, donde debido a la fuerte actividad tectónica compresional se desarrollaron bloques intermedios levantados o deprimidos. Por otra parte, dichas sinuosidades parecen determinar también zonas de mayor o menor permeabilidad ya que en las áreas situadas junto a la parte convexa de esas fallas se produce una distensión favorable a la apertura de las fracturas, mientras que junto a las concavidades tienen lugar zonas de compresión que conllevan al cierre de la red de fracturas a nivel del Cretácico y del basamento.

Por lo general, las fracturas abiertas se detectan durante la perforación de pozos en base a las zonas de pérdidas de circulación, las cuales están localizadas a lo largo de la columna del Cretácico calcáreo y del basamento errática e independientemente de la posición estratigráfica. Por consiguiente, es necesario recalcar que la producción proviene sólo de algunas fracturas privilegiadas que comunican con la red que contiene hidrocarburos.

CONTENIDO

| | Página |
|-------------------------------|--------|
| Constancia de Aprobación..... | iii |
| Dedicatoria..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Indice de Contenido..... | vii |
| Indice de Figuras..... | xi |
| Indice de Anexos..... | xiv |
| Resumen..... | xv |
| Introducción..... | 16 |

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

| | |
|--|----|
| 1.INTRODUCCIÓN..... | 21 |
| 1.1 Generalidades del Campo Mara Este..... | 21 |
| 1.2 Objetivos y Alcances..... | 25 |
| 1.3 Ubicación y Extensión del área de estudio..... | 26 |
| 1.4 Trabajos Previos..... | 27 |

CAPITULO II MARCO METODOLÓGICO

| | |
|--|----|
| 2. METODOLOGÍA..... | 30 |
| 2.1 Validación y Análisis..... | 30 |
| 2.1.1 Ubicación y Validación de Información..... | 30 |
| 2.1.2 Tipos de Datos..... | 31 |
| 2.1.2.1 Informes Historicos..... | 31 |
| 2.1.2.2 Historias de Pozos..... | 31 |
| 2.1.2.3 Sísmica y Datos de Velocidad..... | 33 |
| 2.1.2.4 Pruebas de Restauración de Presión (“Build-up”)..... | 34 |
| 2.1.2.5 Datos de Producción y Pruebas de Producción..... | 35 |
| 2.1.2.6 Mapas Oficiales del Ministerio de Energía y Minas..... | 35 |
| 2.2 Compilación de Datos Resultantes de este Estudio..... | 35 |
| 2.3 Datos y Métodos..... | 36 |
| 2.3.1 Geología..... | 36 |
| 2.3.1.1 Registros de Pozos..... | 36 |
| 2.3.1.2 Localizaciones de Pozos..... | 36 |
| 2.3.1.3 Información de Desviación..... | 37 |
| 2.3.1.4 Datos de Buzamiento..... | 39 |
| 2.3.1.5 Construcción de la Columna Estratigráfica Patrón..... | 40 |
| 2.3.1.6 Correlación y Topes y Estratigráficos..... | 41 |
| 2.3.1.7 Identificación de Fallas..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1.8 Software Geológico..... | 46 |
| 2.4 Interpretación Geofísica..... | 46 |
| 2.4.1 Datos Sísmicos..... | 46 |
| 2.4.2 Sismogramas Sintéticos..... | 47 |
| 2.4.3 Interpretación de Fallas Sísmicas..... | 47 |
| 2.4.4 Software Geofísico..... | 49 |
| 2.5 Elaboración de Mapas y Modelos..... | 51 |
| 2.5.1 Cartografía de Mapas Estructurales en Tiempo e Isócronos..... | 51 |
| 2.5.2 Cortes en Tiempo y Cortes sobre Horizontes..... | 53 |
| 2.5.3 Atributos de Amplitud de Intervalo..... | 54 |
| 2.5.3.1 Mapas de Buzamiento y Azimut..... | 54 |
| 2.5.3.2 Mapas de Curvatura Promedia y Rugosidad..... | 55 |
| 2.6 Clasificación de Trazas Sísmicas..... | 56 |
| 2.7 Cubo de Coherencia..... | 57 |
| 2.8 Conversión a Profundidad y Mapas de Velocidad..... | 57 |
| 2.9 Modelo Geológico Integrado..... | 58 |
| 2.9.1 Modelado Estructural 2-D y Secciones Balanceadas..... | 58 |
| 2.9.2 Modelado Estructural 3-D en gOcad..... | 60 |
| 2.10 Cartografía de Profundidad..... | 62 |

CAPITULO III MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

| | |
|---|----|
| 3. GEOLOGÍA REGIONAL..... | 64 |
| 3.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL..... | 64 |
| 3.1.1 Asociación Mucuchachí (Carbonífero Superior)..... | 67 |
| 3.1.2 Formación La Quinta (Jurásico Superior)..... | 68 |
| 3.1.3 Formación Río Negro [Cretácico (Barremiense)]..... | 69 |
| 3.1.4 Formación Apón [Cretácico (Aptiense - Albiense)]..... | 71 |
| 3.1.5 Formación Lisure [Cretácico (Albiense Medio)]..... | 72 |
| 3.1.6 Formación Maraca [Cretácico (Albiense Superior)]..... | 72 |
| 3.1.7 Formación La Luna [Cretácico (Cenomaniense - Campaniense)]..... | 73 |
| 3.1.8 Formación Colón [Cretácico (Campaniense-Maestrichtiense)]..... | 73 |
| 3.1.9 Formación Mito Juan [Cretáceo (Maestrichtiense Superior)]..... | 75 |
| 3.1.10 Formación Guasare (Paleoceno)..... | 75 |
| 3.1.11 Formación Misoa (Eoceno)..... | 76 |
| 3.1.12 Formación Paují (Eoceno Medio)..... | 77 |
| 3.1.13 Formación Icotea (Oligoceno)..... | 78 |
| 3.1.14 Formación La Rosa (Mioceno Temprano)..... | 79 |
| 3.1.15 Formación Lagunillas (Mioceno Medio a Tardío)..... | 81 |
| 3.1.16 Formación Isnotú (Mioceno Tardío)..... | 82 |
| 3.1.17 Formación Onia (Plioceno)..... | 83 |
| 3.1.18 Formación El Milagro (Pleistoceno)..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| 3.2 Tectónica Y Geología Estructural Regional..... | 85 |
| 3.2.1 Generalidades..... | 85 |
| 3.2.2 Evolución Tectónica..... | 86 |
| 3.2.2.1 Triasico-Jurasico..... | 86 |
| 3.2.2.2 Cretácico..... | 88 |
| 3.2.2.3 Paleoceno..... | 93 |
| 3.2.2.4 Eoceno..... | 94 |
| 3.2.2.5 Oligoceno..... | 96 |
| 3.2.2.6 Mioceno..... | 98 |
| 3.2.2.7 Plioceno-Pleistoceno..... | 100 |

CAPITULO IV MARCO GEOLÓGICO LOCAL

| | |
|---|-----|
| 4. 4. GEOLOGÍA LOCAL..... | 102 |
| 4.1 ESTRATIGRAFÍA LOCAL..... | 102 |
| 4.1.1 Generalidades..... | 102 |
| 4.1.2 Basamento..... | 103 |
| 4.1.3 Cretácico..... | 103 |
| 4.1.3.1 Formación Río Negro..... | 104 |
| 4.1.3.2 Grupo Cogollo..... | 104 |
| 4.1.3.2.1 Formación Apón..... | 105 |
| 4.1.3.2.2 Formación Lisure..... | 106 |
| 4.1.3.2.3 Formación Maraca..... | 106 |
| 4.1.3.3 Formación La Luna..... | 107 |
| 4.1.3.4 Formación Colón..... | 108 |
| 4.1.3.5 Formación Mito Juan..... | 109 |
| 4.1.3.6 Formación Guasare..... | 109 |
| 4.1.3.7 Formación Marcelina..... | 110 |
| 4.1.3.8 Formación Misoa..... | 110 |
| 4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL..... | 113 |
| 4.2.1 Generalidades..... | 113 |
| 4.2.2 Fallamiento..... | 116 |
| 4.2.2.1 Generalidades..... | 116 |
| 4.2.2.2 Fallas Normales..... | 119 |
| 4.2.2.3 Fallas Inversas..... | 120 |
| 4.2.2.4 Fallas Lísticas..... | 122 |
| 4.2.3 Plegamiento..... | 122 |
| 4.2.4 Modelo Estructural Integrado..... | 124 |

CAPITULO V IMPLICACIONES ESTRUCTURALES

| | |
|--|-----|
| 5. Implicaciones estructurales en la caracterización de los yacimientos..... | 130 |
| 5.1 Generalidades..... | 130 |
| 5.2 Pérdida de Fluido..... | 131 |
| 5.3 Revisión cualitativa de los datos dinámicos en el contexto del modelo..... | 133 |
| 5.3.1 Datos de Producción..... | 133 |
| 5.3.2 Datos de Pruebas de Pozo..... | 136 |
| 5.4 Desarrollo del Modelo Conceptual..... | 137 |
| 5.4.1 Cretácico..... | 137 |
| 5.4.2 Basamento..... | 138 |
| 5.5 Hipótesis potencial para la evolución del Yacimiento Mara Este..... | 139 |
| 5.6 Incorporación del Modelo Geológico en la Simulación del Yacimiento..... | 141 |
| 5.7 Presiones..... | 142 |
| 5.8 Producción..... | 143 |
| 5.8.1 Análisis de declinación..... | 143 |
| 5.8.1.1 Consideraciones Generales..... | 143 |
| 5.8.1.2 Cretácico..... | 144 |
| 5.8.1.3 Resultados Obtenidos..... | 145 |
| 5.9 Balance de Materiales..... | 145 |
| 5.9.1 Efecto de las Fallas..... | 145 |
| 5.9.2 Efecto de Crossflow..... | 146 |
| 5.9.3 Modelo de Doble Porosidad..... | 146 |
| 5.10 Desarrollo de Trampas..... | 146 |
| | |
| Conclusiones..... | 149 |
| Recomendaciones..... | 152 |
| Referencias Bibliográficas..... | 154 |
| ANEXOS..... | 159 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 Columna Estratigráfica de las formaciones del Cretácico y Basamento..... | 22 |
| FIGURA 2 Registro tipo con marcadores geológicos..... | 23 |
| FIGURA 3 Ubicación Geográfica del Area de Estudio..... | 26 |
| FIGURA 4 Imagen instantánea (“snapshot”) de Landmark que muestra los datos de desviación originales e interpretados..... | 38 |
| FIGURA 5 Modelo de desviación de pozos causados por alto buzamiento | 39 |
| FIGURA 6 Ejemplo de correlación con alto buzamiento..... | 43 |
| FIGURA 7 Registro Tipo..... | 44 |
| FIGURA 8 Sismograma sintético – DM-114..... | 48 |
| FIGURA 9 Sismograma sintético – DM-144..... | 48 |
| FIGURA 10 Visualización 3D, con líneas arbitrarias – Área Mara Este..... | 49 |
| FIGURA 11 Mapa estructural en tiempo de Socuy..... | 52 |
| FIGURA 12 Mapa Isocrono de Socuy a Machiques..... | 53 |
| FIGURA 13 Mapa de buzamiento de Socuy..... | 55 |
| FIGURA 14 Mapa de azimut de Socuy..... | 56 |
| Figura. 15 Columna estratigráfica regional de la Cuenca de Maracaibo..... | 64 |
| Figura 16. Relación estratigráfica entre las Formaciones La Quinta y la Asociación Mucuchachi..... | 69 |
| Figura 17. Relación estratigráfica entre las formaciones Río Negro, Apón, Lisure y Maraca, estas tres ultimas pertenecientes al Grupo Cogollo..... | 70 |
| Figura 18. Relación estratigráfica entre las formaciones La Luna, Colon (Miembro Socuy) y Mito Juan..... | 74 |
| Figura 19. Relación estratigráfica entre las formaciones Mito Juan, Guasare, Misoa y Paují..... | 76 |
| Figura 20. Relación estratigráfica entre las formaciones Pauji, Icotea, y La Rosa (Miembro St. Barbara)..... | 78 |
| Figura 21. Relación estratigráfica entre las formaciones La Rosa, Lagunillas, Isnotu, Onia y El Milagro..... | 80 |
| Figura 22. Esquema tectónico regional que muestra los elementos estructurales mas importantes dentro de la Cuenca del Lago de Maracaibo.... | 85 |
| Figura 23. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Triásico-Jurásico Temprano..... | 87 |

| | |
|--|-----|
| Figura 24. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Jurasico Medio (Bathonense)..... | 87 |
| Figura 25. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Valanginiense)..... | 88 |
| Figura 26. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Barremiense)..... | 89 |
| Figura 27. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Albiense)..... | 90 |
| Figura 28. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Turonense)..... | 91 |
| Figura 29. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Campaniense)..... | 92 |
| Figura 30. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Maestrichtiense)..... | 92 |
| Figura 31. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno..... | 93 |
| Figura 32. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Eoceno Medio..... | 95 |
| Figura 33. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Oligoceno Temprano..... | 97 |
| Figura 34. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Mioceno Temprano..... | 98 |
| Figura 35. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Mioceno Tardío..... | 99 |
| Figura 36 Corte en tiempo de Mara Este (TS-1520)..... | 114 |
| Figura 37 Mapa estructural tope de Socuy..... | 115 |
| FIGURA 38 Ejemplo de vista en 3D de superficie en Tiempo - Tope de Socuy..... | 117 |
| FIGURA 39 Mapa estructural tope de Socuy..... | 121 |
| FIGURA 40 Elipsoide de deformación aplicado al Campo Mara..... | 125 |
| FIGURA 41 Gráfica de frecuencia de fracturas y distancia a fallas interpretadas por la sísmica 3D..... | 131 |
| FIGURA 42 Gráfica de zonas de circulación perdida y profundidad para cada pozo con un registro de circulación perdida..... | 132 |
| FIGURA 43 Gráfico del número de zonas de circulación perdida y distancia a la falla sísmica más cercana..... | 133 |
| FIGURA 44 Gráfica de burbuja (“Bubble plot”) de la producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Cretáceo..... | 134 |
| FIGURA 45 Gráfica de burbuja (“Bubble plot”) de la producción inicial de líquido para cada pozo en el Cretáceo..... | 135 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 46 Gráfica de la producción de petróleo acumulada para cada pozo y la distancia a la falla sísmica más cercana..... | 135 |
| FIGURA 47 Distribución de incrementos de presión (“pressure buildups”) en el Cretácico..... | 137 |
| FIGURA 48 Gráfica de producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Basamento y distancia a la falla sísmica más cercana..... | 139 |
| FIGURA 49 Gráfico de producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Basamento y profundidad..... | 140 |

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1 Mapa Estructural tope Cretácico
- Anexo 2 Mapa Estructural Basamento
- Anexo 3 Sección Sísmica Balanceada Arb-1
- Anexo 4 Sección Sísmica Balanceada Arb-3
- Anexo 5 Sección Sísmica Balanceada Arb-7
- Anexo 6 Sección Sísmica Balanceada Arb-8
- Anexo 7 Sección Sísmica Balanceada Arb-12
- Anexo 8 Sección Sísmica Balanceada Arb-13

INTRODUCCION

En el año 1998, por disposición de la Junta Directiva de Petróleos de Venezuela, se asignaron 3 áreas (1 de Occidente y 2 de Oriente) a Convenios, para ser explotadas en conjunto, entre Las Universidades y Petróleos de Venezuela. El Campo Mara Este (yacimientos Cretácico y Basamento) fue asignado a PDVSA – LUZ, el cual será operado por la empresa OleoLUZ, el Campo Jobo se entregó bajo Convenio PDVSA – UDO, a ser operado por PetroUDO y el Campo Socororo se entregó a PDVSA – UCV, a ser operado por PetroUCV .

El Campo Mara Este, se encuentra ubicado a 50 Kms. al noroeste de la ciudad de Maracaibo, y su dimensión es de 20 kilómetros de longitud y 12 kilómetros de ancho. El campo produce de tres yacimientos: Eoceno / Paleoceno, Cretácico y Basamento. El Eoceno, está constituido por areniscas y lutitas, el Paleoceno, por areniscas e intercalaciones de calizas, el Cretácico, por sedimentos calcáreos, calizas naturalmente fracturadas y el Basamento, por rocas ígneas, metamórficas y volcánicas sedimentarias.

La estructura resultante del campo es un anticlinal asimétrico, con orientación aproximada N.35 E., y buzamiento hacia el Sur este y Noreste.

En 1945, la compañía Shell de Venezuela, descubrió el yacimiento Cretácico con la perforación del pozo DM-2 y en 1953, descubrió el yacimiento Basamento con la profundización del pozo DM-22. Cabe destacar que dichos pozos están activos con una producción de 350 BPD y 375 BPD, respectivamente; pero el pozo DM-22 está recompletado en el Cretácico, debido a que el Basamento se abandonó por baja producción.

Desde comienzos de la explotación del Campo Mara Este, sus yacimientos fueron clasificados según criterio de las compañías que los operaban en el momento (Shell

de Venezuela, Texas, Menegrande Oil Company y Creole), en la mayoría de los casos, pozos con el mismo comportamiento de producción y presión y con evidencia de que producen de un mismo yacimiento, quedaron separados en distintos yacimientos, como consecuencia de la delimitación establecida para las concesiones. Por esta razón, la delimitación de los yacimientos oficiales no considera la similitud de los comportamientos de producción y presión entre los pozos que los conforman. Los yacimientos oficiales para Cretácico son 12 (Tetones, KM-24, Tetones Este, DM-97, DM-67, DM-84, DM-85, DM-88, DM-90, DM-121, DMM-2 y No Clasificado) y para Basamento son 6 (Central, Oeste, DM-122, DM-70D, DM-84D y No Clasificado).

En los yacimientos Cretácico y Basamento del Campo Mara Este, se han perforado un total de 106 pozos, de los cuales se encuentran activos, 21 productores + 3 inyectores, 52 inactivos y 30 abandonados. Los pozos inyectores se utilizan para inyección de aguas efluentes, la cual se genera en la Estación “A”, como producto de la deshidratación del crudo.

La distribución de pozos es como sigue :

| Yacimientos | Activos | Inactivos | Abandonados | Total |
|-------------|----------|-----------|---------------|----------|
| Cretácico | 13 | 37 | 24 | 74 |
| Basamento | 8 | 14 | 6 | 28 |
| Inyectores | <u>3</u> | <u>1</u> | <u> </u> | <u>4</u> |
| | 24 | 52 | 30 | 106 |

El Petróleo Original En Sitio (POES), según el libro de reservas para el 31/12/01 (oficial) en los yacimientos Cretácico y Basamento, fue calculado, volumétricamente, en 2200 MMBls, con unas reservas recuperables de 451 MMBls.

La producción acumulada de petróleo, hasta Diciembre 2001, es 380.6 MMBls, quedando unas reservas remanentes de 70.4 MMBls.

Actualmente se están realizando estudios detallados del campo, cumpliendo con el cronograma establecido dentro del plan de explotación para tener un mejor conocimiento del mismo, con la finalidad de diseñar proyectos de recuperación secundaria que optimicen la extracción del crudo y lograr una certera ubicación de las nuevas localizaciones.

El presente trabajo forma parte de este plan de explotación, y tiene como objetivo general, caracterizar el modelo estructural presente en el campo a fin de lograr un modelo geológico consistente de estas áreas.

El estudio se basa en la integración del modelo estructural de los yacimientos Cretácico y Basamento y de esta manera definir la orientación y geometría de los elementos estructurales presentes así mismo, definir su arquitectura interna.

Para la elaboración de este estudio se toma como base las interpretaciones realizadas por PDVSA, el estudio se encuentra dividido fundamentalmente en 5 capítulos, bajo los cuales está soportado y documentado este trabajo especial de grado.

En el Capítulo I, se menciona todo lo relacionado a la metodología científica referente al trabajo, definiéndose de esta manera el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos generales y específicos, el alcance de la investigación, la delimitación, así como la ubicación del área de estudio y algunas generalidades del Yacimiento.

El Capítulo II corresponde a la metodología empleada para el desarrollo de este estudio, en el se explica paso a paso las herramientas, equipos, materiales y procedimientos seguidos para la elaboración del mismo.

En el Capítulo III, se hace una reseña a la geología regional de la cuenca de Maracaibo, a la cual pertenece el área de estudio. En este capítulo se mencionan la estratigrafía regional de la cuenca, su evolución estructural, geología histórica.

En el Capítulo IV se hace referencia a la geología local del Campo Mara Este mencionando a manera general la estratigrafía y estructura de las áreas que componen al campo, se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, estos se basan fundamentalmente en la descripción detallada de las secciones sísmicas, estructurales y estratigráficas obtenidas a partir de las correlaciones realizadas, así como de los mapas estructurales realizados, se presentan los análisis de resultados, producto de la integración de toda la información y resultados obtenidos a partir: secciones sísmicas, secciones estructurales, secciones estratigráficas, topes y fallas, mapas estructurales, atributos sísmicos y modelado 3D; estableciéndose una descripción y visión global de la estructura del Campo.

En El Capítulo V se realiza un análisis de las implicaciones estructurales sobre la caracterización de los yacimientos con el fin de determinar la relación o no de la estructura sobre la producción del Campo Mara este y de esta manera optimizar los mecanismos de producción presentes en el mismo y generar un plan de explotación acorde a las condiciones geológicas presentes en el Campo

Finalmente se dan conclusiones y se proponen recomendaciones acerca del estudio realizado.

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.-INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades.

En el año 1998, por disposición de la Junta Directiva de Petróleos de Venezuela, se asignaron 3 áreas (1 de Occidente y 2 de Oriente) a convenios, para ser explotadas en conjunto, entre las Universidades y Petróleos de Venezuela. El Campo Mara Este (yacimientos Cretácico y Basamento) fue asignado a PDVSA – LUZ, el cual estaría operado por la empresa OleoLUZ, el Campo Jobo se entregó bajo Convenio PDVSA – UDO, a ser operado por PetroUDO y el Campo Socororo se entregó a PDVSA – UCV, a ser operado por PetroUCV .

El Campo Mara Este, se encuentra ubicado a 50 Km. al noroeste de la ciudad de Maracaibo, y su dimensión es de 20 km. de longitud y 12 km. de ancho, produce tres yacimientos: Eoceno / Paleoceno, Cretácico y Basamento. El Eoceno, está constituido por areniscas y lutitas, el Paleoceno por areniscas e intercalaciones de calizas, el Cretácico por sedimentos calcáreos, calizas naturalmente fracturadas, por último, el Basamento por rocas ígneas, metamórficas y volcánicas sedimentarias.

En la figura 1, columna estratigráfica del Cretácico y Basamento, se describen las litologías presentes en cada formación y en la figura 2 se observa el registro tipo con sus marcadores geológicos correspondientes. La estructura resultante del campo es un anticlinal asimétrico, con orientación aproximada N.35 E., y buzamiento hacia el sureste y noreste.

| | | | | | |
|--|---|--|---|---|--|
| C R E T A C E O | SOCUY | | Calizas Margosas | | |
| | LA LUNA | | Calizas Laminadas grises a negras, Lutitas oscuras | | |
| | G R U P O C O G O L L O | MARACA LISURE | Calizas masivas coquinoides, nodulares y algunas margas. Calizas altamente fracturadas en Mara/La Paz | | |
| | | A P O N | PICHE | Calizas masivas coquinoides, nodulares y algunas margas. Calizas altamente fracturadas en Mara/La Paz | |
| | | | MACHIQUES | Calizas Laminares Bituminosas y Lutitas Negras . | |
| | | | TIBU | Calizas y Lutitas Arenosas, Calizas masivas, cristalinas. | |
| | RIO NEGRO | | Areniscas blancas, generalmente, de grano grueso; conglomerados heterogéneos; arcillas y lutitas variables, típicamente en tonos brillantes en amarillo, rojo y morado. Las areniscas varían desde muy cuarzosas a muy feldespáticas. El contacto basal es una importante discordancia regional sobre rocas pre-cretácicas. El contacto superior con las calizas de la Formación Apón es abrupto. | | |
| BASAMENTO IGNEO METAFORFICO | | Rocas Igneas y Metamórficas: Esquistos verdosos, gneisses grises, granitos y granodioritas, micas de diversos colores. | | | |

FIGURA 1: Columna Estratigráfica de las formaciones del Cretácico y Basamento. (Tomado y modificado de Plan de Explotación PDVSA 2002 del Campo Mara Este)

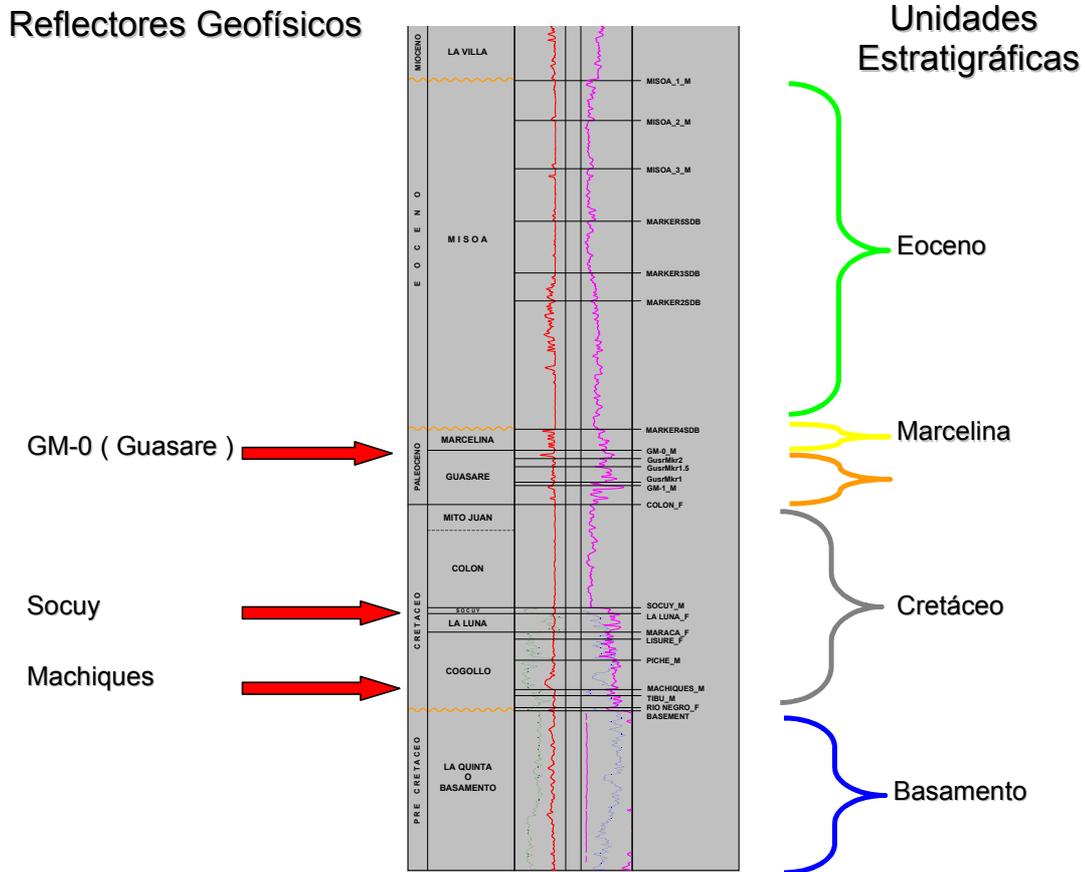


FIGURA 2 : Registro tipo con marcadores geológicos
(Tomado y modificado de Plan de Explotación PDVSA 2002 del Campo Mara Este)

En 1945, la compañía Shell de Venezuela, descubrió el yacimiento Cretáceo con la perforación del pozo DM-2 y en 1953, descubrió el yacimiento Basamento con la profundización del pozo DM-22.

Desde comienzos de la explotación del Campo Mara Este, sus yacimientos fueron clasificados según los criterios de las tres compañías que los operaban en el momento (Shell de Venezuela, Texas, Mene grande Oil Company y Creole); producto de la delimitación establecida para las concesiones pozos con el mismo comportamiento de producción, presión y con evidencia de que producen de un mismo yacimiento quedarán separados en distintos yacimientos. Por esta razón en la

delimitación de los yacimientos oficiales no se considera la similitud de los comportamientos de producción y presión entre los pozos que los conforman. Actualmente, para tratar de subsanar esta situación y tener un mejor conocimiento del campo, se están realizando estudios detallados, según el cronograma establecido dentro del plan de explotación, lo anterior además permitirá diseñar proyectos de recuperación secundaria que optimicen la extracción del crudo y logren una certera ubicación de las nuevas localizaciones.

Otro elemento a mencionar es que el Campo Mara Este cuenta con un modelo estructural determinado por medio del estudio de sismica en 2D; los estudios recientes realizados sobre el modelo generan incertidumbre sobre la credibilidad de la estructura, lo que supondría el cambio o validación del modelo actual con el objeto de lograr un plan óptimo de reactivación y recuperación del potencial de hidrocarburos presente en el campo. Este modelo se realizará tomando la información de perforación y registros, existente en los pozos perforados en el Cretácico y Basamento del Campo Mara Este, utilizando la experticia de la Gerencia de Ingeniería Integral de Yacimientos de OleoLUZ, de La U.E Tierra Oeste, perteneciente a PDVSA, Exploración y Producción, División Occidente.

El Campo Mara Este es un campo maduro que estructuralmente está caracterizado por un modelo de alta complejidad, el mismo será trabajado bajo el esquema de un proyecto de recuperación secundaria y propuestas de nuevas localizaciones, el presente proyecto permitirá la construcción de un modelo geológico actualizado, que se utilizara para la realización de un estudio integrado del campo, además de ser utilizado para generar un modelo estático y dinámico del mismo, logrando de esta manera obtener un mejor conocimiento de las propiedades físicas de los fluidos que el campo contiene.

1.2 Objetivos y Alcances

Como objetivo general se plantea elaborar el Modelo Estructural del Campo Mara Este, acorde al marco tectónico regional, con la finalidad que sirva como base geológica, para la determinación de oportunidades de generación de potencial de hidrocarburos.

Para este fin se precisan los siguientes objetivos específicos:

- Validar y/o cambiar el modelo estructural determinado con sísmica 2D del Campo Mara Este, utilizando para ello la información disponible de pozos, datos de perforación, producción y registros, además de los estudios realizados en el Campo por medio de sísmica 3D.
- Elaborar secciones sísmico-estructurales que permitan definir y describir las estructuras primarias y secundarias presentes en el Campo.
- Elaborar mapas estructurales para el Cretáceo y Basamento.
- Cumplir con el requisito de elaboración del Trabajo especial de Grado, de la Ilustre Universidad Central de Venezuela, para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

La realización de este estudio surgió de la necesidad de unificar los criterios geológico-estructurales del Campo Mara Este, con el objeto de servir como base geológica para la elaboración de un plan óptimo de explotación y de esta manera determinar oportunidades de generación del potencial del campo.

De igual forma el modelo reducirá la incertidumbre que presenta actualmente este campo sincerando las reservas y permitirá generar un proyecto de recuperación secundaria que aumente la producción diaria de los yacimientos presentes en el campo, adicionalmente permitirá la mas acertada ubicación de nuevas localizaciones y un sustancial ahorro de horas hombre en la ejecución de las actividades mencionadas anteriormente

1.3 Ubicación y Extensión del área de estudio

El Campo Mara Este (ver Fig.3), se encuentra ubicado a 50 Km. de la ciudad de Maracaibo, en el extremo noroccidental de la costa del lago de Maracaibo, específicamente entre las coordenadas UTM N 1.191.000-1.245.000 y E 177.000-197.000 y su Extensión es de 240 km².

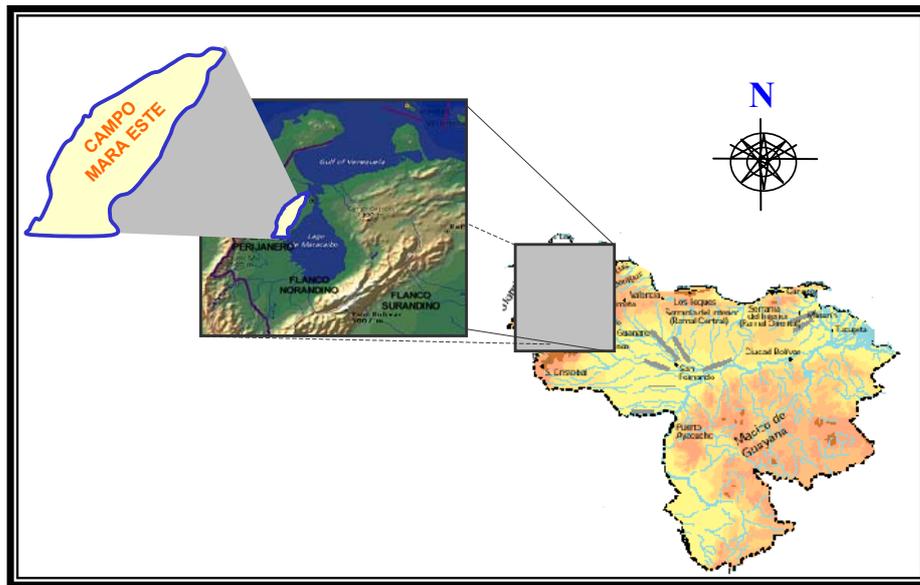


FIGURA 3: Ubicación Relativa del área de estudio

En los yacimientos Cretácico y Basamento Paleozoico del Campo Mara Este, se han perforado un total de 106 pozos, de los cuales se encuentran activos, 21 productores más 3 inyectores, 52 inactivos y 30 abandonados. Los pozos inyectores se utilizan para inyección de aguas efluentes, la cual se genera en la Estación “A”, como producto de la deshidratación del crudo.

El Petróleo Original En Sitio (POES), según el libro de reservas para el 31/12/01 (oficial) en los yacimientos Cretácico y Basamento, fue calculado, volumétricamente en 2200 MMBls, con unas reservas recuperables de 451 MMBls. La producción acumulada de petróleo, hasta Diciembre 2001, es 380.6 MMBls, quedando unas reservas remanentes de 70.4 MMBls.

1.4 Trabajos previos

Entre los trabajos elaborados sobre el campo Mara Este y sus áreas vecinas cabe mencionar los de:

Shell, (1949), realizó un estudio integral de los yacimientos presentes en Campo Mara.

Creole, (1950), realizó un estudio integral de los yacimientos presentes en campo Mara y generó las primeras delimitaciones de los yacimientos presentes en el Campo.

Carter,(1952), realizó las primeras modificaciones a los modelos estructurales presentes hasta la fecha.

Texas Co, (1953), realizó un estudio de las reservas presentes en los yacimientos del Campo.

Shell de Venezuela (1969), realizó las primeras modificaciones al modelo estructural presente hasta la fecha.

Core Laboratories, (1980), presentó un estudio que contiene un reporte descriptivo de los campos petrolíferos de la costa occidental del lago de Maracaibo incluyendo una revisión de los yacimientos del Campo Mara.

Bueno y Hartung, (1984), elaboraron una nueva interpretación estructural de Campo Mara.

Molina, (1986), realizó una revisión geológica de los Campos Netick y Mara cuyo objetivo fue determinar áreas para perforación de desarrollo y avanzada.

Simupet, (1992), presentó los resultados obtenidos de un estudio integrado (Geología, Petrofísica, Yacimientos y Producción) realizado a los yacimientos pertenecientes a las formaciones del Cretácico y Basamento del Campo Mara Este.

Beicip Franlab, (1999), realizó un estudio integrado de los campos presentes en el área Mara La Paz.

CAPITULO II
MARCO METODOLÓGICO

2 METODOLOGÍA

2.1 Validación y Análisis

2.1.1 Ubicación y Validación de Información

Al inicio y durante el proyecto, PDVSA puso a disposición sus datos existentes relacionados con el área de estudio Campo Mara Este. Estos datos incluyeron:

- Datos de Pozos, estos datos incluyen:
- Registros de Pozos (hoyo abierto y entubado)
- Núcleos, informes, análisis de núcleos, y fotografías de núcleos
- Archivos de pozos que contienen los reportes de perforación, descripciones de los ripios, desviación, buzamiento y datos de DST.
- Datos sísmicos 3-D
- Registros “checkshots” sísmicos
- Pruebas y datos de presión
- Datos de producción de pozo, yacimiento y campo
- Historial de pozos (fichas)
- Mapas oficiales del Ministerio de Energía y Minas, República de Venezuela
- Informes y estudios previos

La administración de datos fue un componente mayor del estudio. Para los variados tipos de datos, la administración de datos incluyó la recolección, organización, selección, control de calidad, digitalización y la conversión de la información para su uso en los programas de software empleados en el estudio.

2.1.2 Tipos de Datos

2.1.2.1 Informes Históricos

Los informes elaborados por Shell, Texaco, Mene Grande, Creole y PDVSA proporcionaron información histórica importante, relacionada con datos, cálculos, mapas, observaciones y conclusiones del campo.

| Tipo de Datos | Disponibilidad |
|--|---|
| Archivos de Pozos | Archivos que contienen reportes de perforación, descripciones de muestras de pared e informes de registros de pozos; disponibles en papel y formato digital en la red de PDVSA. |
| Registros de Pozo, Área de Mara Este | Registros en papel y archivos digitales (LAS). |
| Registros de Pozos, Áreas Colindantes | Registros en papel. |
| Sísmica 3-D | Mara Este y La Paz |
| Datos de Velocidad | VSP y “checkshot” |
| Núcleos y Análisis de Núcleos | Archivos en papel y digitales. |
| Mapas Oficiales del Ministerio de Energía y Minas | Mapas estructurales en papel, última versión. |
| Datos de Perforación y Completación | Archivos de pozo en papel y en formato digital, disponibles en Base de Datos “Recall” y de Registros. |
| Datos de Presión | Formato digital, en hojas de cálculo |
| Registros de Producción | Número y ubicación no especificados |
| Pruebas de Producción | Formato digital en base de datos de producción (CENTINELA) |
| Estudios Anteriores | Informes técnicos sobre temas de geología, geofísica, petrofísica, ingeniería de campo y geoquímica |

Tabla 1 Datos aportados por PDVSA.

2.1.2.2 Historias de Pozos

Los historiales de pozos (fichas) constituyen una fuente de información de la perforación, completación y producción de los pozos de producción. Al comienzo del proyecto, PDVSA había compilado datos de ficha en formato de texto. Luego, las

fichas fueron convertidas en formato numérico (digital). Los datos resultantes almacenados en una base de datos llegaron a ser la fuente principal de información sobre la historia de la perforación y rehabilitación de los pozos. Posteriormente dichos datos fueron revisados, exportados y cargados en otro software, según fuera necesario.

Las fichas proveen los siguientes tipos de información:

- Nombre del pozo y su localización (nombres de pozos, no estándar de PDVSA)
- Profundidades de penetración y taponeo
- Historia del mantenimiento y rehabilitaciones principales
- Profundidades y tamaños de las sartas de tubería de revestimiento (“casings”)
- Profundidades y tamaños de las tuberías de producción
- Pruebas de producción inicial (fecha, profundidad, tasa)
- Intervalos de cañoneo y estado (abiertos o cerrados)
- Breve descripción de los procedimientos de rehabilitación.

Registros de Pozo

Existen curvas de registros para 144 pozos en el Campo Mara Este y en las partes inmediatamente adyacentes de los bloques colindantes. El total de pozos fueron correlacionados y usados para el desarrollo de modelos de yacimientos para el Cretácico / basamento. El espaciamiento entre pozos es de menos de 300 m en las áreas densamente perforadas, incrementándose a 600 m en áreas de perforación menos densa. Hay 23 pozos gemelos (pozos a 100 m uno del otro) en la base de datos pertenecientes al campo.

Existe una variación considerable en los registros disponibles para los pozos individuales. El juego básico de registros consiste en registros eléctricos o inducción; registros laterales son mucho menos comunes. Las curvas de resistividad están disponibles para la mayoría de los pozos, haciendo de éstas el registro de correlación primario. La calidad de la curva SP es a menudo buena en los pozos más antiguos, pero es pobre en la mayoría de los pozos perforados al comienzo de los años sesenta. Sobre el campo solamente 70 pozos tienen curvas de rayos gamma, 10 tienen curvas de densidad, 44 tienen curvas de neutrón y 9 pozos tienen registros sísmicos. Solamente 1 pozo tiene registros FMI, y 103 pozos cuentan con registros de buzamiento.

Los juegos de registros para pozos individuales varían de acuerdo con los juegos estándar corridos al tiempo de la perforación.

Durante el curso de este estudio, un esfuerzo significativo fue puesto en recolectar, organizar y digitalizar la información de los registros de pozos.

Un significativo problema no resuelto fue la falta de información de desviación, y no toda dicha información fue encontrada.

2.1.2.3 Sísmica y Datos de Velocidad

Mara Este se encuentra dentro de la mitad norte del levantamiento LaPaz-Netick-Mara, que también cubre los campos La Paz y Netick. La cobertura de superficie de este levantamiento es aproximadamente 560 km². El levantamiento tiene una orientación sureste-noroeste.

Los puntos de origen de X y Y del levantamiento son:

X – 165851.63

Y – 1182973.50

Los inlines con una orientación noroeste-sureste comienzan en 10220 y terminan en 12900, y los crosslines con una orientación suroeste-noreste son 2431 a 3390. El espaciamiento de las celdas es 30 por 15 metros con el eje largo de la celda perpendicular a la dirección de las líneas. La porción interpretada del levantamiento, la cual incluye el área Mara Este, se extiende desde el inline 11000 hasta 12900 y desde el crossline 2431 hasta 3390.

Se cargó la sísmica en Landmark utilizando la zona UTM 19, Norte.

Doce (12) pozos en el área de Mara Este tienen VSP y/o levantamientos “checkshots”: DM-001, DM-003, DM-006, DM-007, DM-017, DM-024, DM-025, DM-031, DM-075, DM-078, DM-114 y DM-148A. Estos levantamientos proporcionan los valores de tiempo versus profundidad. Se elaboraron curvas compuestas de tiempo – profundidad para los doce pozos con datos de VSP (El apéndice 1) muestra la curva compuesta de tiempo – profundidad para los ocho pozos que solamente tienen datos de checkshot. Siete (7) pozos en el área sísmica de Mara Este tienen datos de registros sísmicos. Sin embargo, solamente dos cuentan con datos suficientes para construir sismogramas sintéticos que alcanzan más de un intervalo geológico. Se generaron sismogramas para estos pozos (DM-114 y DM-144) utilizando las curvas de sísmico y densidad disponibles).

2.1.2.4 Pruebas de Restauración de Presión (“Build-up”)

Aproximadamente 377 pruebas de restauración de presión estuvieron disponibles para el uso del proyecto, de los cuales 64 fueron consideradas confiables después de los respectivos procesos de validación, 21 correspondieron a las formaciones del Cretácico y 27 a las formaciones del basamento.

El estudio también incorporó numerosas pruebas de presión estática de pozos individuales.

2.1.2.5 Datos de Producción y Pruebas de Producción

Los datos producción de los pozos del campo están disponibles en el Libro de Histórico de Producción, OFM, sobre todos los pozos. PDVSA también dio historias de producción digitales en formato TPA (“The Production AnalystTM”).

2.1.2.6 Mapas Oficiales del Ministerio de Energía y Minas

Mapas oficiales del Ministerio de Energía y Minas a la escala de 1:20.000 para el área Mara Este incluyen dos mapas estructurales. Estos mapas están en la lista de la Tabla 2.

| Horizonte | Tipo de Mapa |
|-----------|------------------|
| Socuy | Mapa Estructural |
| Basemento | Mapa Estructural |

Tabla 2 Proyecto Mara Este – Lista de mapas oficiales

2.2 Compilación de Datos Resultantes de este Estudio

En el curso de este estudio, se compiló bases de datos digitales en formatos PC y Landmark. La Tabla 3 da la lista de la localización y formato de esos datos.

| Tipo de Datos | Formato | Localización de la Base de Datos |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Mapas interpretados | Landmark, PowerPoint | Red de UNIX de PDVSA Disco duro de PDVSA |
| Mallado de mapas digitales | Landmark | Red de UNIX de PDVSA |
| Pruebas de presión | OFM | Schlumberger |
| Curvas de declinación de producción | OFM | Schlumberger |
| Ilustraciones | Corel Draw, Power Point Word | Red de UNIX de PDVSA Proyecto OW: TO-MARAESTE |
| Datos de desviación | Landmark | Proyecto OW: TO-MARAESTE |
| Correlaciones de topes y horizontes | Landmark | Red de UNIX de PDVSA |

Tabla 3 Bases de datos compiladas por este proyecto entregados a la completación del estudio

2.3 Datos y Métodos

2.3.1 Geología

2.3.1.1 Registros de Pozo

Registros de hoyo abierto existen para la mayoría de los pozos. El juego de registros de correlación más común y principal consiste en curvas eléctricos más antiguas (curvas normas cortas y largas) conjuntamente con una curva de potencial espontáneo; registros laterales y de inducción son mucho menos comunes. Adicionalmente hay hoyos que tienen curvas de rayos gamma o de rayos gamma/neutrones, en el campo solo diez (10) pozos con registros de densidad y nueve (9) pozos con registros sísmicos. Petrofísica, se recolectaron curvas digitales para estos registros las cuales fueron revisadas por su calidad y cargadas en la base de datos de Landmark y utilizadas para realizar correlaciones.

2.3.1.2 Localizaciones de Pozos

Las localizaciones de pozos en la superficie han representado un problema en el Campo Mara Este desde hace algún tiempo. Esto se observa por el hecho de que algunos pozos están ubicados en varias posiciones distintas en los mapas históricos. Una gran parte de la confusión probablemente resultó cuando se cambiaron los nombres de algunos de los pozos después de la nacionalización. Debido a que originalmente había cuatro compañías trabajando en el Campo Mara Este, se utilizaron distintos métodos de nomenclatura. Cuando Maraven (una de las muchas empresas que actualmente forman PDVSA) asumió control de las operaciones, el método de asignar nombres se simplificó utilizando el sistema cronológico de la empresa Shell Oil Company, el cual consiste en DM por Distrito Mara y un número de pozo. Sin embargo todos los pozos que no eran de Shell cuyos nombres se cambiaron no están en orden cronológico. Aparentemente hubo unas confusiones en aquel momento.

Para este estudio se utilizaron los mapas de ubicación originales de los archivos de pozos conjuntamente con mapas de parcela, elevaciones de pozos, datos topográficos y la interpretación geológica y geofísica para ayudar a ubicar los pozos correctamente. PDVSA verificó algunas localizaciones de pozos con GPS (Global Satellite Positioning Surveys) pero los “hoyos secos” no tienen ninguna localización existente en la superficie. También es posible que algunas localizaciones en la superficie podría tener el nombre de pozo equivocado o el letrero incorrecto colocado y por lo tanto, los datos incorrectos han sido asignados al pozo.

Aunque el número de pozos reubicados fue pequeño, debido a la complejidad estructural del área, estos pozos son críticos para la caracterización correcta de los yacimientos. Aun después de hacer esfuerzos considerables, todavía no hay certeza que todos los pozos estén ubicados correctamente.

2.3.1.3 Información de Desviación

Se disponía de información de levantamientos de desviación para 128 pozos del campo. Se recolectaron datos de Totco. Se utilizaron las mediciones de Totco (inclinación sin azimut) para suplementar los datos de desviación que faltaban. Se hicieron suposiciones en relación con el azimut de hoyo y los resultados son levantamientos de desviación interpretados completos.

Originalmente se exportaron los datos de desviación para el estudio desde la base de datos “Finder” de PDVSA. Debido a que no disponía de datos completos (en muchos casos no se disponía de datos para los pozos incluidos en esta base de datos), se requerían datos adicionales. Se extrajeron datos nuevos de los archivos de pozos y se incluyeron levantamientos de desviación adicionales con azimut y datos de levantamientos Totco sin azimut. Los datos de desviación (con azimut) de todas las fuentes se cargaron en la base de datos de OpenWorks™ de Landmark bajo el

nombre TO_MARA_ESTE. Estos son los datos de desviación originales, verdaderos y completos que se encontraron para el proyecto.

Muchos pozos en los datos de desviación cargados son incompletos. Por ejemplo, los puntos de levantamiento no existen hasta la superficie o se extienden hasta la profundidad total. Esta falta de datos puede causar problemas con las trayectorias calculadas y resultar en localizaciones de pozo mal ubicadas. En áreas estructuralmente complejas con alto buzamiento, se desea tener trayectorias completas de los pozos para ubicarlos correctamente y para poder corregir los espesores y profundidades para las profundidades verticales verdaderas (TVD) y espesores verticales verdaderos (TVT). Debido a que Landmark no utiliza los datos Totco (datos sin azimut), se decidió crear levantamientos de desviación interpretados utilizando los datos suplementados con Totco y datos de inclinación y azimut interpretados (Figura 4). Se seleccionaron las direcciones de azimut examinando las superficies estructurales cartografiadas suponiendo que el hoyo tiende a arrastrarse de manera perpendicular y hacia la dirección de buzamiento (Figura 5). Aunque esto no siempre es el caso, es lo que se observó con la mayor frecuencia en Mara Este.

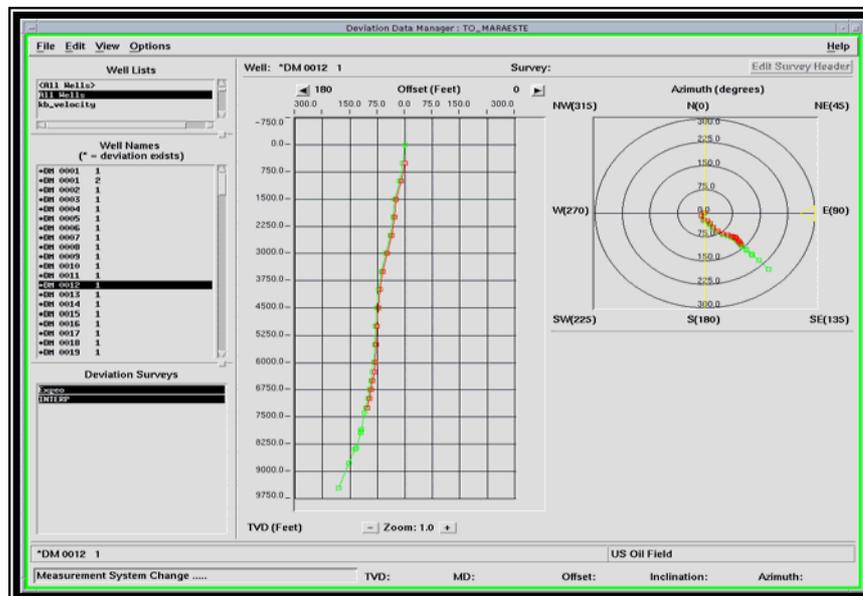


FIGURA 4 Imagen instantánea (“snapshot”) de Landmark que muestra los datos de desviación originales e interpretados

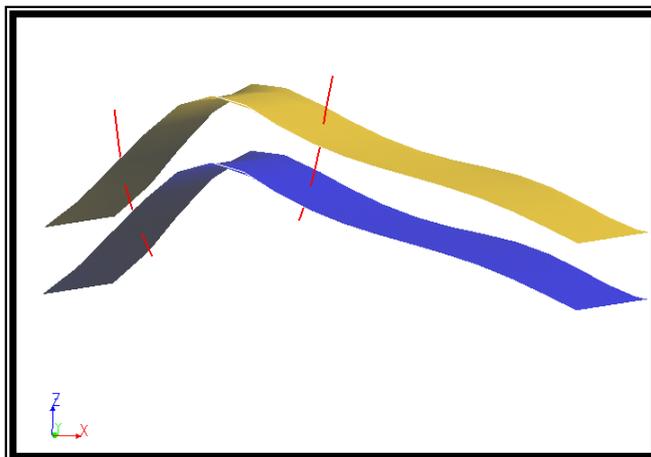


FIGURA 5 Modelo de desviación de pozos causados por alto buzamiento

Se hicieron suposiciones adicionales para pozos que faltaban o tenían levantamientos incompletos y no disponían de datos Totco. En estos casos se proyectaron las inclinaciones y azimuts existentes hasta la superficie o hasta profundidad total. Estos datos interpretados (cargados en Landmark como “INTERPRETED”) fueron los datos utilizados para calcular los datos de registro de ubicación (utilizando el método de curvatura mínima) dentro del programa de Landmark y exportados a todas las demás aplicaciones que requerían datos de trayectoria.

2.3.1.4 Datos de Buzamiento

Los datos de buzamiento, incluyendo el buzamiento y azimut, están disponibles para la mayoría de los pozos. La mayor parte de los datos de buzamiento en Mara Este se derivó de herramientas más viejas el tipo Sp de tres brazos e inclinómetro (“dipmeter”) de resistividad. Se corrieron los registros por zonas identificadas de permeabilidad o resistividad. Posteriormente el proceso requería que el analista examinara visualmente la correlación de las tres curvas y con los datos de desviación calculara los buzamientos manualmente. Por lo general la calidad de buzamiento es buena y puede ser utilizado para brindar información estructural satisfactoria. Sin embargo en algunos de los archivos de pozo, hay registros de errores de cálculo y

levantamientos de nuevos recorridos con resultados distintos. En algunas de las regiones más complejas estructuralmente donde las desviaciones y buzamientos de los hoyos son altos, hay reportes en los archivos de pozo que dudan de la validez de los datos de buzamiento. En estas áreas se debe esperar que la precisión de los datos sería reducida. Por estas razones, se debe utilizar estos datos con cautela en estas áreas. Estos datos son cargados en la porción de inclinómetro de la base de datos de Openworks TM de Landmark. Los datos consisten en las partes superior e inferior del intervalo donde se realizó la medición, el ángulo de buzamiento y el azimut de buzamiento. Estos datos interpretados coinciden con el estilo y frecuencia de los datos no continuos.

Información adicional sobre buzamiento proveniente de núcleos que consiste en buzamiento aparente (lecturas sin azimut y no corregidas por la desviación del hoyo) ha sido ingresada en Landmark como texto y almacenada bajo notas de pozos.

2.3.1.5 Construcción de la Columna Estratigráfica patrón

Se construyó una columna litológica interpretada en el paquete de Litología de Landmark. Se tomaron en consideración descripciones de núcleos, descripciones de ripios y curvas de registro al asignar los intervalos y tipos de roca. La precisión de la interpretación litológica varía de un pozo a otro y dependía del tipo y calidad de los datos disponibles. Muchos de los pozos más antiguos tenían buenas descripciones de ripios y descripciones de núcleo. A medida que se desarrollaba el campo, se recolectaron menos datos geológicos. Como resultado, los pozos más recientes contenían poca o ninguna información. Los archivos de pozo que contenían descripciones de núcleos y ripios fueron examinados de tres fuentes distintas durante la duración del proyecto. Como se menciona en esta sección bajo el tema “Archivos de Pozos”, ninguno de estos juegos de archivos era completo. Debido al tiempo limitado, los tres juegos de archivos no pudieron ser revisados completamente y es posible que se pasaron algunos datos por alto.

Otras áreas donde las descripciones litológicas son extremadamente importantes son los pozos con fallas altamente complejas en el lado oeste del campo. Dos pozos ejemplares son DM-6 y DM-149 donde las rocas ígneas tienen fallas que las desplazan en posiciones entre intervalos de carbonatos.

En la porción de basamento de la columna litológica, se extrajeron varios tipos de roca distintos de las descripciones de los archivos de pozo. Estas descripciones varían mucho, dependiendo de la calidad de la muestra y técnicas y estilos personales de las descripciones. Frecuentemente la descripción de la muestra del basamento era incompleta y en muchos casos las descripciones terminaban al alcanzar el basamento. Las descripciones del basamento no son tan confiables como la porción menos profunda de la columna litológica. Debido a esto y a la complejidad conocida de la constitución litológica del basamento, se debe utilizar la interpretación con mucha caución.

Los tipos de roca se agrupan en varios tipos descriptivos de rocas ígneas y metamórficas. Estas incluyen: Ígneas Ácidas, Ígneas, Granito, Granodiorita, Riolita, Andesita, Gneis, Esquisto y Metamórficas, Ígneas y Metamórficas No Diferenciadas.

En ocasiones se describieron Brechas en las muestras de ripios y descripciones de núcleos. Este tipo de roca descriptivo se incluye en la columna litológica como un indicador estructural.

Estas columnas litológicas están mostradas en registros y secciones estratigráficas dentro del proyecto y han sido convertidas a curvas en Landmark.

2.3.1.6 Correlación y Topes Estratigráficos

Se llevo a cabo la correlación en el software StratworksTM de Landmark. Las curvas utilizadas para la correlación incluyen resistividad, Sp de línea de base, rayos gamma

en hoyo abierto y gamma-neutrón en hoyo entubado. Se utilizaron varios patrones de registros de pozo debido a las grandes variaciones de resistividad dentro de las unidades. En las secciones del Cretácico, una escala logarítmica de 1-1000 Ohm²/m resultó preferible mientras que en las demás secciones una escala lineal de 0-50 Ohm²/m con una escala de curva de resistividad profunda amplificada de 0-15 Ohm²/m era preferible. Las escalas de rayos gamma son 0-150 API y de la de las curvas de Sp de línea de base es 0-100 Mv. No se pudo utilizar una sola escala para las curvas de gamma-neutrón en hoyo entubado no calibrado.

Antes de realizar la correlación de registros, se compararon los núcleos con las curvas de registros para ayudar a determinar firmas razonables de las curvas de registros dentro de un marco estratigráfico de secuencia. Se determinaron los topes para los carbonatos del Cretácico, Formaciones Río Negro y Guasare utilizando esta metodología. No se disponían de datos para las Formaciones Misoa y Marcelina, y se utilizaron solamente las características de las curvas de registros para la correlación y selección de topes.

Se prestó atención especial en áreas de alto buzamiento y en pozos con una alta desviación del hoyo. Un “estiramiento” significativo de los registros puede ocurrir lo que hace difícil la correlación. La Tabla 4 muestra el incremento en el espesor aparente en un intervalo de cien pies con buzamientos cada vez mayores. La Figura 6 es un ejemplo de correlación que muestra un pozo de bajo buzamiento correlacionado con un pozo de alto buzamiento.

| Buzamiento | Espesor Verdadero | Espesor Aparente |
|------------|-------------------|------------------|
| 25 | 100 | 110 |
| 30 | 100 | 115 |
| 35 | 100 | 122 |
| 40 | 100 | 130 |
| 45 | 100 | 141 |
| 50 | 100 | 155 |
| 55 | 100 | 174 |
| 60 | 100 | 200 |
| 65 | 100 | 236 |
| 70 | 100 | 292 |
| 75 | 100 | 386 |
| 80 | 100 | 575 |
| 85 | 100 | 1147 |

Tabla 4 Incremento en el espesor aparente en un intervalo de 100 pies con buzamientos cada vez mayores.

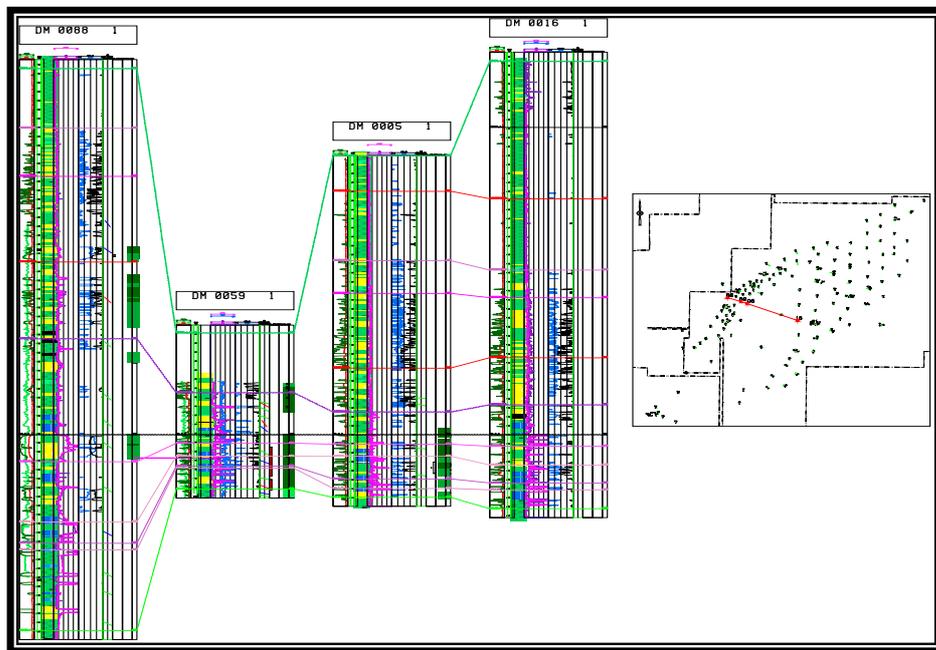


FIGURA 6 Ejemplo de correlación con alto buzamiento

El siguiente registro tipo (Figura 7) presenta los nombres de los Topes utilizados en este estudio y almacenados en la base de datos de OpenWorks™ de Landmark. Las siglas incluyen la letra M de miembro y F de Formación. Los demás nombres son marcadores informales o nombres informales que se utilizaron en estudios anteriores.

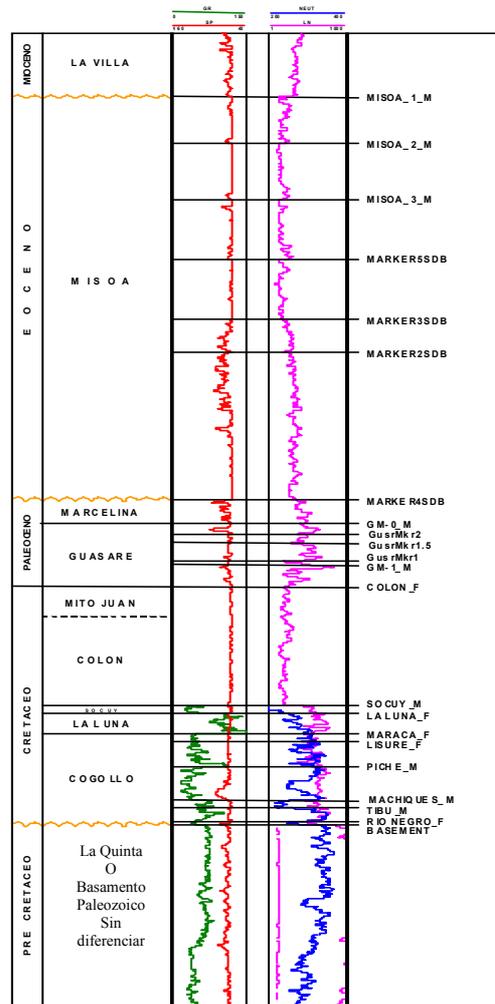


FIGURA 7 Registro eléctrico Tipo mostrando las diferentes Formaciones presentes en el Campo Mara Este

2.3.1.7 Identificación de Fallas

La identificación de fallas dentro del campo complejo estructuralmente de Mara Este ha sido un problema desde se descubrió el campo. Esto es demostrado por la variación significativa en las interpretaciones generadas por los estudios anteriores. Aun con la adición de tales herramientas modernas como la sísmica tridimensional, secciones balanceadas y modelado tridimensional, estas fallas siguen siendo sujetas a considerable interpretación.

Se realizó la identificación de fallas preliminares utilizando el paquete “Stratworks” de Landmark al mismo tiempo que la correlación de horizontes. Se prestó atención especial a topes que faltaban o “faulted-out” e intervalos adelgazados o engrosados. Los cambios rápidos en el buzamiento y desviación de hoyos también brindaron pistas sobre la posible ubicación y posición de fallas dentro de los hoyos. Por lo general resultó más fácil identificar fallas en los carbonatos del Cretácico debido a marcadores más consistente lateralmente. En las Formaciones Misoa y Marcelina y especialmente en las lutitas de la Formación Colón, la ubicación precisa de cortes de falla resultó difícil o más bien imposible. Las fallas más grandes, zonas de fallas complejas, altos buzamientos y la complejidad estratigráfica tendían a hacer aun más difícil ubicar las fallas dentro de los hoyos. Además del método de correlación, se construyeron mapas isopacos de “observación rápida” en el programa “MapView” de Landmark para ayudar en la identificación de intervalos adelgazados o engrosados, los cuales resultaron especialmente útiles en áreas menos complejas estructuralmente pero solamente indicaron la probable existencia de fallas y no ayudó en la selección de fallas. En áreas de alto buzamiento el uso de isopacos era problemático.

Finalmente el proceso de construir secciones balanceadas y del modelo tridimensional fueron los métodos más importantes para identificar y ubicar la localización final de fallas.

2.3.1.8 Software Geológico

La correlación geológica y selección de fallas se realizaron en Stratworks™ de Landmark, un paquete integrado para la industria petrolera de UNIX. Los datos de los topes de horizontes y fallas están almacenados en la base de datos OpenWorks™ de Landmark. Se utilizó el software “Geosec” de Paradigm, un paquete de secciones balanceadas bidimensionales, para construir secciones estructurales y ayudar a definir el modelo estructural e historia tectónica. Se utilizó software adicional para realizar el modelado tridimensional. El software “gOcad” de T-surf fue utilizado para construir el modelo tridimensional que consistía de superficies y fallas. Los mapas finales fueron elaborados en LandMark Z-Map™ utilizando las superficies y fallas finales exportadas del modelo de gOcad.

2.4 Interpretación Geofísica

2.4.1 Datos Sísmicos

El campo Mara Este se encuentra en la mitad norte del levantamiento tridimensional La Paz-Netick-Mara, el cual también cubre los campos La Paz y Netick. La cobertura de este levantamiento es aproximadamente 560 km² y tiene una orientación sureste – noroeste.

Los puntos de origen X y Y del levantamiento son:

$$Y \quad X - 165851.63$$

$$Y \quad Y - 1182973.50$$

Los “inlines” con una orientación noroeste – sureste comienzan en 10220 y terminan en 12900, y los “crosslines” con una orientación suroeste – noreste son del 2431 al 3390. El espaciado de celdas es 30 por 15 metros con el eje largo de la celda perpendicular a la dirección de las líneas. La porción interpretada del levantamiento

que incluye el área Mara Este se extiende desde el inline 11000 hasta 12900 y desde el crossline 2431 hasta 3390. Se cargaron los datos sísmicos en Landmark utilizando la zona UTM 19, Norte.

Se solicitó el mallado completo de los datos 2-D anteriores para este estudio pero solamente unas pocas líneas “off-structure” fueron disponibles. Estas líneas no resultaron útiles en el presente estudio. sin embargo en visto de la calidad de los datos 3-D, posiblemente hubiesen podido brindar información útil.

2.4.2 Sismogramas Sintéticos

Siete pozos en el área sísmica de Mara Este tienen datos de registros sísmicos. Sin embargo, solamente dos tienen datos suficientes para construir sismogramas sintéticos que se extienden por más de un intervalo geológico. Se generaron sismogramas sintéticos para estos pozos (DM-114 y DM-144) utilizando las curvas de sísmico y densidad disponibles.

Las Figuras 8 y 9 presentan sismogramas sintéticos con topes anotados para los pozos DM-114 y DM-144 respectivamente.

2.4.3 Interpretación de Fallas Sísmicas

Se interpretaron fallas en cada décimo inline con una orientación noroeste – sureste, perpendicular al rumbo del campo. También se interpretaron fallas en crosslines seleccionados, cuando fuera necesario. No todas las fallas son paralelas a inlines o crosslines en este levantamiento y por lo tanto, dichas líneas no siempre proporcionan una visión clara del comportamiento de las fallas. También se interpretaron fallas en

dieciocho líneas arbitrarias que intersecaron tantos pozos claves que fuera posible (Apéndice 2-a,b). Se escogieron nueve de estas líneas arbitrarias como líneas estructurales claves (Figura 10).

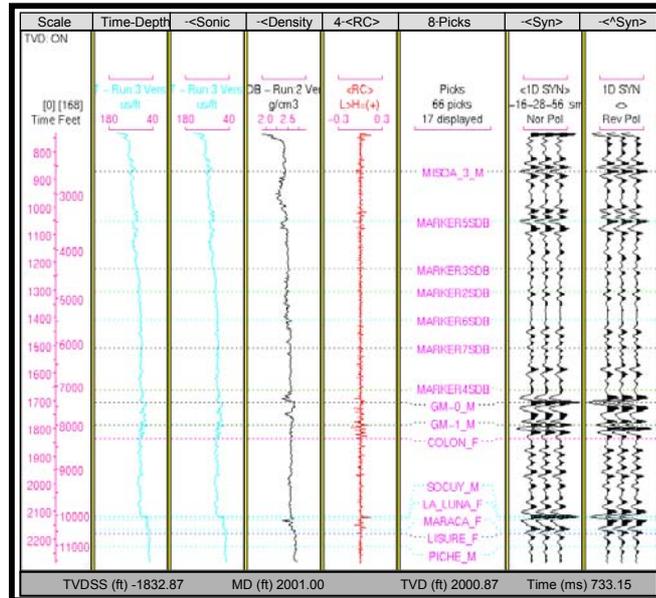


FIGURA 8 Sismograma sintético – DM-114

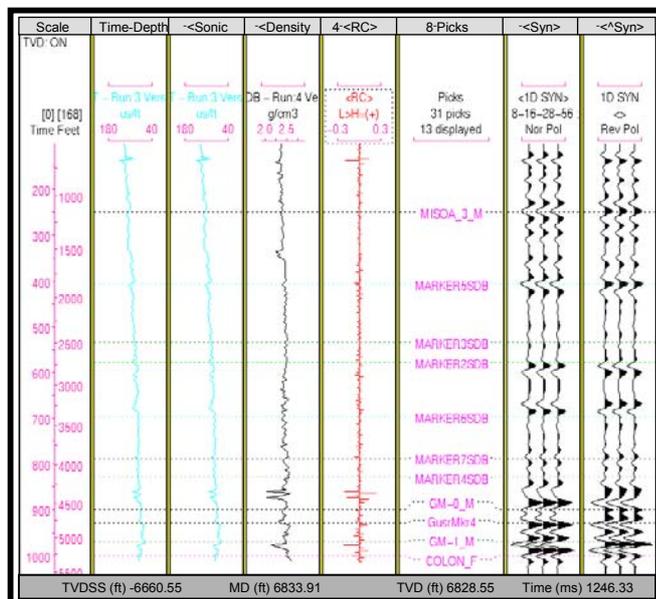


FIGURA 9 Sismograma sintético – DM-144

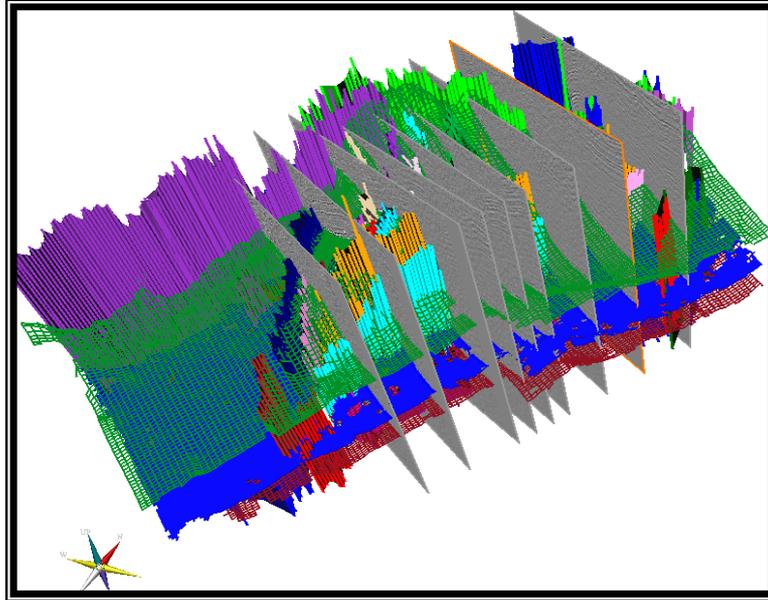


FIGURA 10 Visualización 3D, con líneas arbitrarias – Área Mara Este

Todas las fallas seleccionadas en la sísmica fueron comparadas con cortes de fallas en registros de pozo para su validación y también para ayudar a ubicar fallas seleccionadas difíciles. Luego se incorporaron todas las fallas en un modelo utilizando gOcad.

Las mejores herramientas para la visualización de fallas en la sísmica son los datos de cortes de horizonte (“horizon slice”) en la forma de mapas de buzamiento y azimut.

2.4.4 Software Geofísico

La interpretación sísmica se llevó a cabo en SeisWorks™ and Stratimagic™ de LandMark, ambos basados en UNIX. SeisWorks™ es un paquete para interpretación general que realiza todas funciones de sistemas de interpretación sísmica basados en UNIX (interpretación de horizontes y fallas, análisis de amplitud estándar,

aplanamiento de horizontes, rotación de fase, análisis de fase y frecuencia, etc.). Tiene un vínculo de la base de datos de Oracle al paquete StratWorks™ de Landmark que almacena la interpretación geológica. La interpretación completa de horizontes y fallas e información de conversión de profundidad (“checkshots”, sintética, tablas de tiempo – profundidad y modelo de velocidad) fueron entregadas a PDVSA en el formato de Landmark.

Stratimagic™ es una herramienta nueva diseñada específicamente para el análisis estratigráfica de facies sísmicas de datos sísmicos tridimensionales. La fortaleza de este “software” es que realiza comparaciones y clasificación de trazas por intervalo para crear mapas de clasificación de trazas para la interpretación de detalles estratigráficos. Algunas de estas mismas herramientas pueden ser utilizadas para detectar rasgos estructurales.

La elaboración de mapas procedió por varios pasos. Se construyeron mapas de control de calidad a través del proceso en el paquete MapView de SeisWorks™ y en el paquete FastQCTM de Stratimagic™. Los mapas de observación rápida (“quick-look”) construidos por estos paquetes permitieron la verificación continua de las interpretaciones e ideas. Se integraron los datos sísmicos con los datos geológicos y fueron ingresados en gOcad para construir un modelo estructural tridimensional. Se elaboraron los mapas finales en el paquete cartográfico Z-Map™ de Landmark.

La sintética utilizada en este estudio fue generada en SynTool de Landmark. Se presentaron ejemplos de esto anteriormente en las figuras 8 y 9 respectivamente.

Se el utilizo el modelo de velocidad en “DepthTeam” de Landmark. El nombre del modelo de velocidad es MaraNew.

2.5 Elaboración de Mapas y Modelos

2.5.1 Cartografía de Mapas Estructurales en Tiempo e Isocronos

Se seleccionaron los horizontes Socuy y Basamento para la interpretación estructural debido a que son los mejores reflectores regionales y/o mostraron un cambio significativo en velocidad. Se seleccionaron dos Discordancias Post-Eoceno distintas. La discordancia más alta (denominada la “Discordancia Intra-Mioceno”) corresponde al tope geológico Misoa_1_M. La discordancia más baja no fue cortada por ningún pozo. Se seleccionó la Formación Colón también para ayudar en la construcción del modelo de velocidad.

Se inició la interpretación en las localizaciones de los once pozos con “checkshots”. Sin embargo, era muy importante que cada pozo era calibrado a la sísmica y utilizado en la interpretación sísmica debido a la complejidad estructural del área. Luego de la selección, se exportó cada superficie a un paquete de cartografía, fue limpiada y reimportada. Sin embargo, se mantuvieron las superficies originales para el análisis de atributos.

La Figura 11 es un mapa estructural en tiempo de Socuy. Las áreas en blanco son áreas donde los datos sísmicos no permitieron la interpretación.

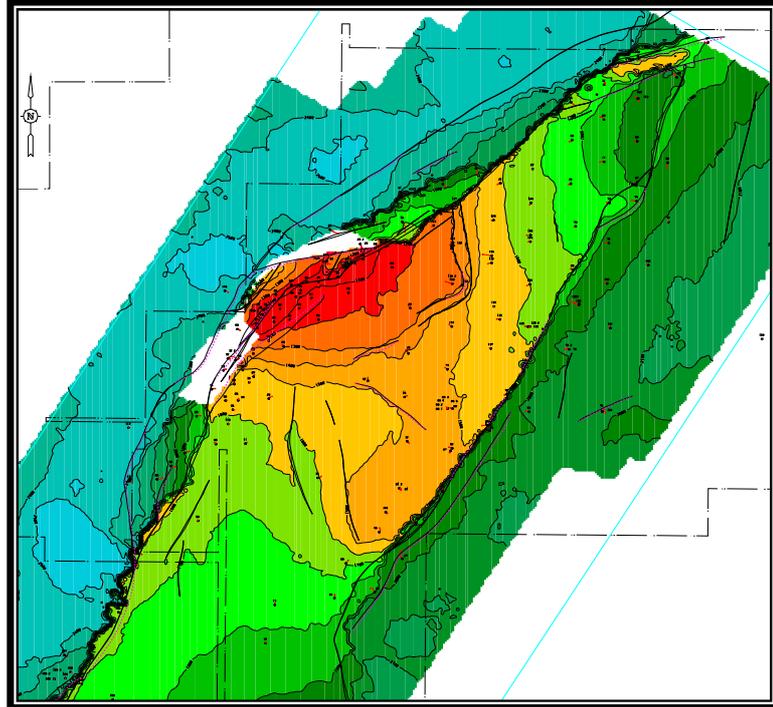


FIGURA 11 Mapa estructural en tiempo de Socuy

Como se mencionó anteriormente, el levantamiento se procesó con un operador DMO de 45 grados, y por lo tanto los buzamientos mayores a 45 grados fueron tratados con filtros, lo que ha resultado en áreas donde no es posible interpretar la sísmica. El tamaño del área varía con la profundidad del horizonte y puede ser observado en cada uno de los mapas estructurales en tiempo. La interpretación de horizontes dentro de esta área se realizó con el control de pozo (en profundidad) y fusionada con las superficies de profundidad derivadas de la sísmica y los pozos.

Los mapas isocronos (Figura 12) fueron calculados sustrayendo una superficie superior interpretada de una superficie inferior interpretada. Los valores isocronos más delgados en cada mapa se muestran en color anaranjado y amarillo, graduándose a verde para los valores isocronos de mayor espesor. Nótese que el intervalo de isocronos es frecuentemente delgado adyacente a fallas en los labios hundido y levantado. Esto es el resultado de la relación geométrica de la falla inclinada y los

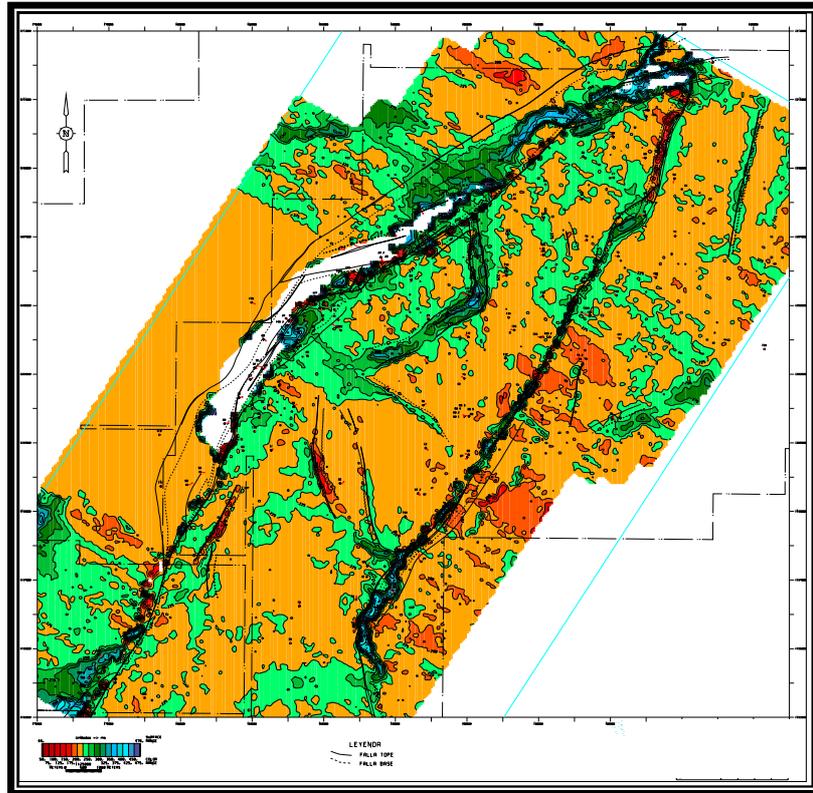


FIGURA 12 Mapa Isocrono de Socuy a Machiques

horizontes. Los isocronos GM-0 a Colón, Colón a Socuy y Socuy a Machiques son los más útiles.

2.5.2 Cortes en Tiempo y Cortes sobre Horizontes

Se hicieron cortes en tiempo (“time slices”) cada 20 ms desde 500 ms hasta 2000 ms. Este intervalo se extiende desde el punto estructural más bajo en la Formación Machiques hasta por encima del punto estructural más alto en el intervalo de la Discordancia Post-Eoceno en el bloque productor principal. Los cortes en tiempo son útiles para mostrar rasgos estructurales y visualizar relaciones entre fallas.

Se generaron cortes sobre horizontes para los horizontes GM-0 y Socuy. Se generaron cortes desde 80 ms por encima hasta 40 ms por debajo de GM-0 y desde 20 ms por encima hasta 152 ms por debajo del reflector de Socuy. Los cortes sobre horizontes por sí solos no resultaron especialmente útiles debido a que no mostraron o

destacaron ningún rasgo que no podía ser mejor mostrado por otro mapa o visualización sísmica.

2.5.3 Atributos de Amplitud de Intervalo

Se crearon intervalos desde por encima del GM-0 hasta por debajo del Machiques para el análisis de atributos utilizando los horizontes sísmicos de GM-0, Socuy y Machiques. Se creó cada intervalo añadiendo o substrayendo un espesor determinado, apropiado para la unidad geológica correspondiente, al o del horizonte de referencia. El intervalo del Paleoceno y parte inferior del Eoceno fueron definidos en relación al reflector GM-0. Los intervalos del Cretáceo fueron evaluados utilizando intervalos definidos con referencia al horizonte Socuy, y se evaluó el Basamento utilizando intervalos creados con referencia al horizonte Machiques.

Los atributos procesados en estos intervalos son:

- Amplitud mínima y máxima
- Promedio de amplitud absoluta
- Desviación estándar de la amplitud absoluta
- Tercera y cuarta derivadas
- Acumulado promedio (“mean”) de amplitud absoluta

2.5.3.1 Mapas de Buzamiento y Azimut

Los mapas de buzamiento y azimut constituyen buenas herramientas en la visualización de los rasgos estructurales del área, especialmente las fallas. Estos mapas se calculan estimando el error de mínimos cuadrados de superficie para ser ajustados a una red de puntos centrado sobre la traza para la cual los dos atributos están siendo computados. El mapa de buzamiento mide el buzamiento de 0 a 90 grados. En el ejemplo (Figura 13) el amarillo y verde indica buzamiento mayores, y el rojo buzamientos menores. Por lo tanto, las fallas se muestran como líneas amarillas-verdes sobre la superficie oscura. Es difícil el distinguir el ruido de las fallas en datos ruidosos, pero datos más limpios son más fáciles de ser interpretados.

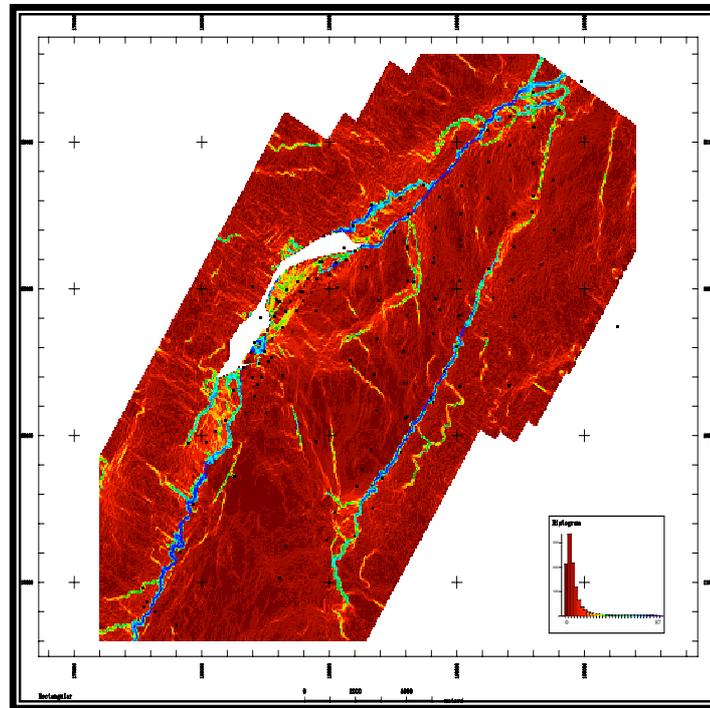


FIGURA 13 Mapa de buzamiento de Socuy

Un mapa de azimut mide el azimut de la dirección del buzamiento de 0 a 360 grados. En el ejemplo (Figura 14) los tonos de azul representan un buzamiento hacia el noroeste, los tonos de rojo representan un buzamiento hacia el noreste; los tonos de verde representan un buzamiento hacia el suroeste; y los tonos de amarillo representan un buzamiento hacia el sureste. Los tonos de color efectivamente muestran la estructura.

2.5.3.2 Mapas de Curvatura Promedia y Rugosidad

Estos atributos de Curvatura Promedia y Rugosidad miden el derivado del buzamiento el cual indica las flexuras del horizonte independientemente del buzamiento global. Se utiliza una malla de 7 X 7. Estos mapas pueden ser utilizados para detectar diferencias entre compartimentos de fallas. Las superficies planas (aun

inclinadas) tendrán una curvatura de cero, mientras la curvatura es alta en regiones donde la inclinación se cambia drásticamente (es decir, zonas de inflexión en la

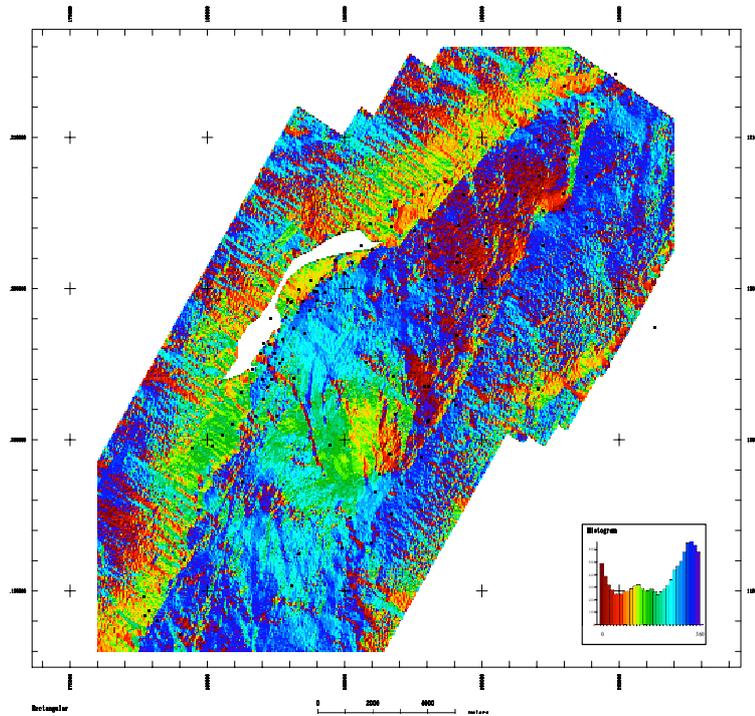


FIGURA 14 Mapa de azimut de Socuy.

superficie cerca de fallas, pliegues, etc.), pero también en regiones donde existan cambios morfológicos importantes. La curvatura promedio es negativa cerca de un bajo o positiva cerca de un pico. El mapa de Curvatura Promedia es similar al “Edge map” generado en SeisWorksTM de Landmark.

Los colores más vivos (que no sean verde) representan flexuras más extremas en cada visualización. Las fallas están delineadas claramente por los colores más vivos. Las fracturas ocurrirán con mayor probabilidad en áreas de flexura y por lo tanto, podrían aparecer como áreas en colores vivos.

2.6 Clasificación de Trazas Sísmicas

El proceso de clasificación de trazas sísmicas consiste en una comparación de trazas, una operación llevada a cabo por StratimagicTM, que es un programa de redes

neurales. Cada traza dentro de un área seleccionada y el intervalo vertical es evaluada por la forma de la traza y comparada con cada otra traza en el área e intervalo. Cada traza es asignada a una clase, basándose en la similitud con otras trazas. El número de clases las define el usuario y normalmente varía entre 10 y 20. Si dos trazas son muy similares o idénticas, son asignadas a la misma clase. Si dos trazas son similares, son asignadas a clases cercanas, tales como 1 y 2 ó 1 y 3. Si dos trazas no son similares, son asignadas a clases que no son cercanas, tales como 1 y 7 ó 1 y 8. Es lógica asumir que las trazas en la misma clase representen el mismo ambiente geológico o facies. Los resultados deben ser comparados con la información geológica para ser interpretados. Se debe tener precaución cuando se interpreta mapas de facies en áreas en donde la data sísmica es ruidosa.

2.7 Cubo de Coherencia

El cubo de coherencia también es un buena herramienta para identificar fallas. El Cubo de Coherencia (“Coherence Cube™”) correlaciona las similitudes entre las trazas sísmicas adyacentes y transforma el cubo sísmico 3-D en un cubo de coherencia con valores entre 0 y 1, en donde 1 significa que las trazas adyacentes son idénticas y 0 significa que las trazas no tienen similitud. Con esta herramienta los cambios laterales pueden ser identificados fácilmente.

2.8 Conversión a Profundidad y Mapas de Velocidad

Se definieron regiones geológicas alrededor de cada “checkshot” disponible para el pozo inicial a amarres sísmicos. La curva de tiempo/profundidad del “checkshot” en cada región se asignó a todos los pozos en la misma región. Se asignó a cada pozo su propia curva de tiempo/profundidad, la cual se derivó de un pseudo-sónico derivado por Faust, cálculos de velocidad promedio del intervalo o de la modificación de uno de los once checkshots.

Se construyó un modelo de velocidad en “DepthTeam™” de Landmark. Los resultados eran satisfactorios en la parte central del campo. Sin embargo, había dos

áreas donde los resultados del modelo de velocidad fueron pobres. Una está cerca de la falla limitante al este y la otra está ubicada en la parte occidental del bloque estructural más alto. Los resultados fueron pobres en el este debido al fallamiento, altos buzamientos y dificultades para hacer el amarre en pozos fallados. La pobre calidad de los datos sísmicos combinada con capas de alto buzamiento en el bloque occidental estructuralmente complejo, redujo la calidad de los amarres de pozo e incrementó la dificultad para crear el modelo de velocidad.

Se llevó a cabo la conversión en profundidad utilizando “kriging” con desplazamiento externo (correlación de amarre al pozo). El proceso de desplazamiento (“drift”) externo implica “interpolación reversa” para asignar un valor en tiempo de un evento sísmico dado a cada localización de pozo. El valor en profundidad del horizonte o el valor de espesor del intervalo (de la información de pozo) se divide por el valor de tiempo asignado para calcular un valor de velocidad en cada localización de pozo para cada horizonte o intervalo. Se lleva a cabo este proceso para calcular velocidades promedias y velocidades de intervalo. Se crea una red de velocidad y se multiplica por la red en tiempo para producir una red en profundidad (mapa).

Se utilizaron velocidades promedias y velocidades de intervalo relativamente uniformes en esta área para calcular la profundidad. Esto ocurre por dos razones: no hay pozos en el flanco del oeste y el flanco oeste es “plano” estructuralmente (en tiempo). El modelo estructural tridimensional determinó la profundidad en el flanco del oeste.

2.9 Modelado Geológico Integrado

2.9.1 Modelado Estructural 2-D y Secciones Balanceadas

Se aplicó el método de secciones balanceadas al área Mara Este bajo estudio. La metodología básica de la construcción de secciones balanceadas requiere la elaboración de un modelo estructural que puede explicar el origen de la deformación

observada. Una sección balanceada es una que puede ser restaurada cuantitativamente al estado original no deformado. El procedimiento general incluye las siguientes fases: 1) Compilación de datos de geología de superficies, datos de pozos e información sísmica; 2) análisis e identificación de fallas y la geometría de pliegues de datos de pozos, geología de superficies y datos sísmicos; 3) desarrollo de una interpretación o modelo estructural que explica el origen de las observaciones geométricas, tales como la forma de pliegues y la forma de fallas y relaciones estratigráficas tales como variación de espesor o discordancias que podrían ser controladas por estructura; 4) la restauración de la sección es la fase final y proporciona una verificación de la interpretación estructural para probar si el modelo es viable.

El primer paso en el estudio de Mara Este era seleccionar una serie de secciones que representaron las variaciones en el estilo estructural del área y contenían el mejor control de pozos. Se escogieron líneas sísmicas arbitrarias para visualizar las secciones en una sección en tiempo y minimizar problemas de proyección de pozos. En primer lugar se correlacionaron los pozos para seleccionar todos los toques de formación e identificar los cortes de pozo. Se importaron los pozos en el software Geosec y luego se construyeron las secciones. Se elaboró un modelo de la geometría de los pliegues utilizando las correlaciones de pozos y reflectores sísmicos. Las geometrías de fallas fueron limitadas por las relaciones de pozos y sísmicas o interpretadas para que expliquen el origen de las formas de pliegue observadas y modeladas. La fase final era la restauración de una de las secciones para mostrar la evolución estructural cinemática del área. La sección restaurada multifásica demuestra que el modelo desarrollado para Mara Este puede explicar las observaciones detalladas en pozos y sísmica que incluyen: geometría de pliegues, geometría de fallas y variación de espesor estratigráfico.

2.9.2 Modelado Estructural 3-D en gOcad

Datos de Entrada: Datos de cuatro horizontes sísmicos interpretados (GM-0, Colón, Socuy y Machiques) se convirtieron en profundidad y fueron importados en el software de modelado 3-D. Datos adicionales extraídos de los datos sísmicos incluyeron: polígonos de fallas interpretados para los 3 horizontes más confiables (GM-0, Socuy y Machiques) conjuntamente con los planos de fallas lítricas del Paleoceno que se convirtieron en profundidad en “DepthTeam” de Landmark. Estas fallas lítricas más complejas fueron exportadas como datos 3-D y utilizadas para guiar el modelado de fallas lítricas.

Se crearon ciento cincuenta y nueve pozos en gOcad a los cuales se les asignaron trayectorias de pozo, puntos seleccionados topes y datos de buzamiento provenientes de la base de datos de OpenWorks.

Se cargaron correlaciones 2-D y fallas provenientes de nueve secciones balanceadas interpretadas (construidas en “Geosec (2-D)” de Paradigm) en gOcad para ayudar a limitar el modelo.

Proceso de Modelado: La primera fase del proceso de modelado era crear una red de fallas 3-D a través de integrar los polígonos de fallas sísmicas importados, datos de llanuras de falla 3-D para las fallas del Paleoceno con curvas, fallas seleccionadas topes de la correlación de registros y fallas interpretadas de las secciones balanceadas. Esto era un proceso iterativo entre sísmica, geología (correlación), elaboración de secciones balanceada y el modelo 3-D emergente.

Al terminar el modelo de fallas preliminar se cambió el enfoque para crear horizontes de profundidad para los horizontes GM-0, Colón, Socuy y Machiques. De nuevo el modelado de superficies era un proceso iterativo en el cual se aprovecharon al máximo la sísmica, secciones, marcadores de pozo, datos de buzamiento y mapas de espesor. Las superficies GM-0, Colón y Socuy se construyeron utilizando los datos sísmicos y los datos geológicos. El Basamento se basó en la superficie sísmica de

Machiques y pozos geológicos seleccionados topes que fueron proyectados hacia abajo para coincidir con las superficies geológicas del basamento seleccionadas . Se verificaron los espesores de intervalo del modelo utilizando mapas de espesor vertical y el espesor proyectado de las secciones balanceadas. La parte central del campo resultó sencilla debido a la buena calidad de la sísmica y numerosos controles de pozo. El flanco del oeste y área occidental, en su mayor parte plana, fueron problemáticos debido a penetraciones de pozos y control de velocidad insuficientes.

Solamente se disponían de datos de pozos, secciones y espesores para los horizontes menos profundos del Eoceno y el tope de Marcelina. Generalmente esta tarea llevaba menos tiempo que los horizontes inferiores, salvo el flanco del oeste de la estructura. Esto se debía principalmente al hecho de que había menos datos. Se requirió significativamente más tiempo para construir los horizontes más profundos. La construcción de estas superficies era un trabajo más iterativo y llevaba más tiempo debido a que involucraban más datos y frecuentemente reevaluaciones forzadas de las interpretaciones geofísicas, geológicas y de las secciones balanceadas.

Este proceso de trabajar en 3-D identificó los cambios requeridos para algunos de los horizontes, marcadores y fallas seleccionadas de baja confiabilidad. Estos no habrían sido identificados con metodologías 2-D tradicionales.

Resultados: Los productos de gOcad incluyen fallas, horizontes y secciones balanceadas validadas. Los horizontes principales de gOcad fueron exportados a Z-map para generar los mapas finales. Las superficies y fallas finales fueron exportadas desde gOcad para ser utilizadas en el software de visualización 3-D “OpenVision” de Landmark. La Tabla 5 es un listado de los horizontes construidos en gOcad (de menor a mayor profundidad) y el número de fallas modeladas para cada horizonte.

| Horizonte | Número de fallas |
|---|------------------|
| Discordancia Post-Eoceno (MISOA_1_M) | Ninguna |
| MISOA_2_M | 2 |
| MISOA_3_M | 5 |
| MARKER5SDB | 7 |
| MARKER3SDB | 12 |
| MARKER2SDB | 14 |
| Tope Marcelina (MARKER4SDB) | 49 |
| Tope Guasare (GM-0_M) | 49 |
| Tope Colon (COLON_F) | 49 |
| Tope de Carbonatos del Cretácico (SOCUY_M) | 35 |
| MACHIQUES_M | 36 |
| Tope Basamento (BASEMENT) | 36 |

Tabla 5 horizontes construidos utilizando gOcad

2.10 Cartografía de Profundidad

Se construyeron mapas estructurales finales para las siguientes superficies (nombre del tope en OpenWorks) los cuales están anexados como anexos(1-2).

- Tope de carbonatos del Cretácico (SOCUY_M)
- Basamento (BASAMENTO)

CAPITULO III
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.GEOLOGIA REGIONAL

3.1 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

La columna estratigráfica de la Cuenca de Maracaibo está integrada desde el Basamento Paleozoico ígneo-metamórfico hasta la Formación El Milagro de edad Pleistoceno, tal como se representa a continuación (Figura 15).



Figura. 15 Columna estratigráfica regional de la Cuenca de Maracaibo (Tomado de archivo de imágenes de PDVSA 2001)

La Cuenca de Maracaibo se encuentra ubicada al noroeste de Venezuela. Su extensión es de aproximadamente 50.000 Km² perteneciendo en su mayor parte al

estado Zulia y en extensiones menores a los estados Táchira, Mérida y Trujillo. Sus límites geográficos son al oeste y noroeste, la Sierra de Perijá, al sureste los Andes de Mérida y al este y noreste, la Serranía de Trujillo (González de Juana *et al.*, 1980).

Los sedimentos que constituyen la Cuenca de Maracaibo alcanzan un volumen total de aproximadamente 250.000 Km³ (Martínez 1976, en González de Juana *et al.*, 1980), estos sedimentos fueron depositados en un rango de edades que van desde el Jurásico hasta el Holoceno. Sin embargo, es durante el Cenozoico cuando la cuenca recibe el mayor volumen de sedimentos.

El basamento de la Cuenca de Maracaibo está constituido por los metasedimentos de la Formación Mucuchachí y equivalentes de edad Pensilvaniense y las capas rojas de la Formación La Quinta de edad Jurásico, (Martínez 1976, en González de Juana *et al.*, 1980), la cual se encuentra rellenando el sistema de “grabens” asociados a la apertura continental que comenzó en el Triásico.

En el Cretácico los sedimentos fueron depositados sobre una plataforma estable y la sedimentación estuvo controlada por la subsidencia de la cuenca, por la carga sedimentaria y por los cambios eustáticos. Todo esto bajo un largo período transgresivo que comenzó en el Cretácico Temprano y culminó en el Paleoceno.

Se depositaron las formaciones Río Negro, que representa un período de depositación restringida (ambiente continental-costero); el Grupo Cogollo, integrado por las formaciones Apón, Lisure y Maraca; La Luna (roca madre de mayor potencialidad en la Cuenca del Lago de Maracaibo), que representa depósitos marinos a lo largo de toda la cuenca de Maracaibo y el máximo avance de los mares cretácicos; Colón, constituida en su base por el Miembro Socuy y Mito Juan que representa el estado final de la caída relativa del nivel del mar durante el Cretácico Tardío.

Durante el Terciario Temprano se inicia un periodo regresivo. Hay una retirada del mar hacia el noreste, desarrollándose amplias costas deltáicas y cinturones litorales en el oeste y sureste de la Cuenca de Maracaibo, sin embargo, sobre gran parte de la plataforma de Maracaibo, el surco de Barquisimeto y hacia el borde de la zona este del Escudo de Guayana, las condiciones marinas todavía prevalecían. Durante el Paleoceno se deposita la Formación Guasare.

El origen de los sedimentos del Eoceno se ha establecido al suroeste de la cuenca, transportados por los ríos Magdalena y Orinoco que fluyen desde el sur hacia el norte y noreste. La depositación ocurrió en un ambiente fluvio–deltáico con un depocentro que ahora yace debajo del Lago de Maracaibo.

En el Eoceno la sedimentación esta representada por sedimentos de la Formación Mirador (de ambiente fluvial), Formación Misoa (de ambiente deltáico), Formación Paují (de ambiente marino) y Formación Mene Grande. Durante este periodo los sedimentos quedan expuestos a una profunda erosión, casi total de las formaciones Paují-Mene Grande, parcial de la Formación Misoa en los alineamientos hacia el occidente, total de la Formación Misoa y parcial de la Formación Guasare en los bloques del sur del lago.

Durante el Oligoceno y Mioceno Temprano continuó el proceso erosivo en la zona nor-noreste del lago y se depositan los sedimentos de la Formación Icoatea. Posteriormente se produce la trasgresión marina de la Formación La Rosa, en su base se reconoce un miembro arenoso de ambiente marino somero conocido como Miembro Santa Bárbara (o Basal La Rosa) (González de Juana *et al.*1980). En los bordes de la cuenca, los ambientes fueron costeros deltáicos; sobre ésta formación se depositó la Formación Lagunillas de carácter menos marino. La Formación Isnotú es depositada durante el Mioceno Tardío-Plioceno. El ciclo sedimentario en la Cuenca de Maracaibo termina con la depositación de los sedimentos de la Formación Betijoque, Formación Onía, Formación El Milagro y los aluviones recientes.

A continuación se presenta un resumen de las características geológicas más importantes de las formaciones que componen la columna sedimentaria de la Cuenca de Maracaibo.

3.1.1 Asociación Mucuchachí (Carbonífero Superior):

Las rocas que constituyen esta asociación, han sido asignadas al Carbonífero Superior (Pennsylvaniense) por Marechal (1983), y presentan un metamorfismo regional variable entre las facies de los esquistos verdes y estauroлита-anfibolita. El metamorfismo en general parece aumentar de sur a norte.

Arnold (1961), indica que litológicamente está compuesta por pizarras con tendencia lutítica y brillo sericítico, fosilíferas, pizarras de color gris oscuro a verdoso y pizarras similares de tendencia filítica. Se encuentran bandas de metareniscas, finas impuras, en capas generalmente delgadas y con menor frecuencia macizas y gruesas. Excepcionalmente aparecen calizas recristalizadas duras, de color gris azulado a pizarras calcáreas intercaladas en la secuencia filítica, litología que generalmente es la predominante.

Y Shagam (1969), señala que esta asociación muestra características de un ambiente de sedimentación marina, por debajo del nivel base de las olas; la pirita y el material carbonáceo sugieren condiciones anaeróbicas, ya sea en cuencas aisladas con acceso restringido a los mares abiertos o en aguas muy profundas sin corrientes de fondo.

En el subsuelo del Lago de Maracaibo, en el área central, esta asociación se encuentra en contacto discordante con la Formación Río Negro suprayacente (Figura 15), formando parte del basamento pre-Cretácico de esta cuenca.

3.1.2 Formación La Quinta (Jurásico Superior):

La Formación La Quinta, es una unidad sedimentaria de naturaleza continental. Allí se reconocen tres partes dentro de esta formación:

- La parte inferior, de conglomerados de color rojo a veces con material tobáceo interestratificado con areniscas arcillosas.
- La parte media, predominantemente lutítico - limosa.
- La parte superior, de areniscas rojas con estratificación cruzada.

En la base de la sección tipo, se encuentran tobas dacíticas o riolíticas, infrayacentes aparentemente concordantes con los conglomerados rojos de la formación.

Los fósiles de la Formación La Quinta se consideraban escasos, restos de peces del género *Lepidotus*, conostráceos (estéridos) y ostrácodos lo que evidencia un ambiente de depositación de aguas continentales. Otra determinación de edad jurásica, fue el hallazgo de un dinosaurio pangeano, cf. *Lesothosaurus* sp., el cual corresponde a la parte inferior del Jurásico Medio. Estas rocas fueron depositadas en una fosa alargada, sobre una estructura de graben distensivo con dirección predominante norte - noreste.

En algunos pozos profundos de la Plataforma de Maracaibo, se han encontrado cuñas de sedimentos rojos litológicamente correlacionables con la Formación La Quinta, que junto con la Asociación Mucuchachí, constituyen el basamento Pre-Cretáceo de toda la cuenca del Lago de Maracaibo, infrayaciendo concordantemente a la Formación Río Negro (Figura 16).

Hernández (2003) realiza un análisis evaluativo integrado de la facies no roja de la Formación La Quinta dando como resultado la definición de cuatro facies “La facies

roja (De ambiente fluvial, de cono aluvial), la facies naranja grisáceo (de ambiente fluvial de corrientes entrelazadas), la facies gris oscuro (de ambiente lacustre con invasiones marinas) y la facies gris claro (de ambiente de llanura de marea con invasiones marino someras).

Además se determino una edad Jurásico Tardío Titoniense para la facies gris oscuro, en la cual se presentaron episodios de invasiones marinas.

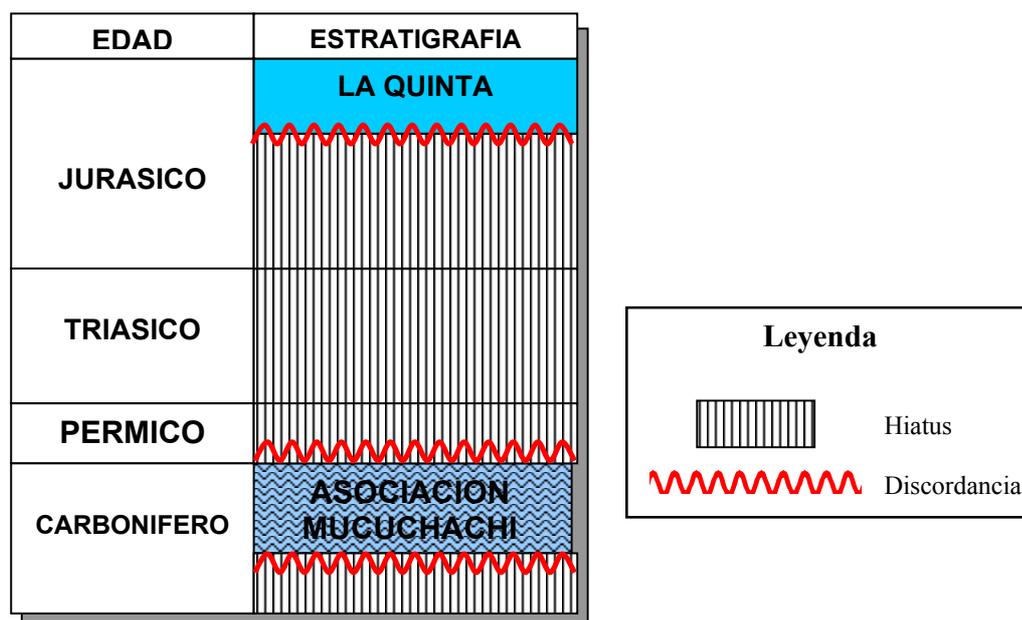


Figura 16. Relación estratigráfica entre las Formaciones La Quinta y la Asociación Mucuchachi.

3.1.3 Formación Río Negro [Cretácico (Barremiense)]:

Durante el Barremiense, los surcos de Machiques, Uribante y Barquisimeto en Venezuela Occidental, se rellenaron con una secuencia sedimentaria de ambiente predominantemente fluvial, conocida como Formación Río Negro.

Su característica litológica más distintiva en el Surco de Machiques, es la presencia de areniscas arcósicas y arcosas, asperones, conglomerados y espesores menores de arcillitas y limolitas de colores brillantes. Esta formación se caracteriza, unas veces

por sedimentos de origen fluvial con areniscas conglomeráticas y otras por arcosas de grano grueso con acanaladuras y lentes de conglomerados, frecuentemente con estratificación cruzada e intercalaciones de lutitas.

La Formación Río Negro, es fundamentalmente una sedimentación de relleno de surcos; sin embargo, al progresar la transgresión sobre áreas positivas como la Plataforma de Maracaibo y el flanco noroeste del Alto de Mérida, se produce un rápido acuñaamiento contra los bordes de las estructuras antes mencionadas. En los pozos perforados en el Lago de Maracaibo sólo se encuentran escasos metros de un conglomerado basal que está en contacto discordante sobre rocas pre-Cretácicas.

Con excepción de algunos restos de plantas, no se han encontrado fósiles en el área tipo de esta formación, cuyo contacto es transicional con la Formación Apón suprayacente (Figura 17).

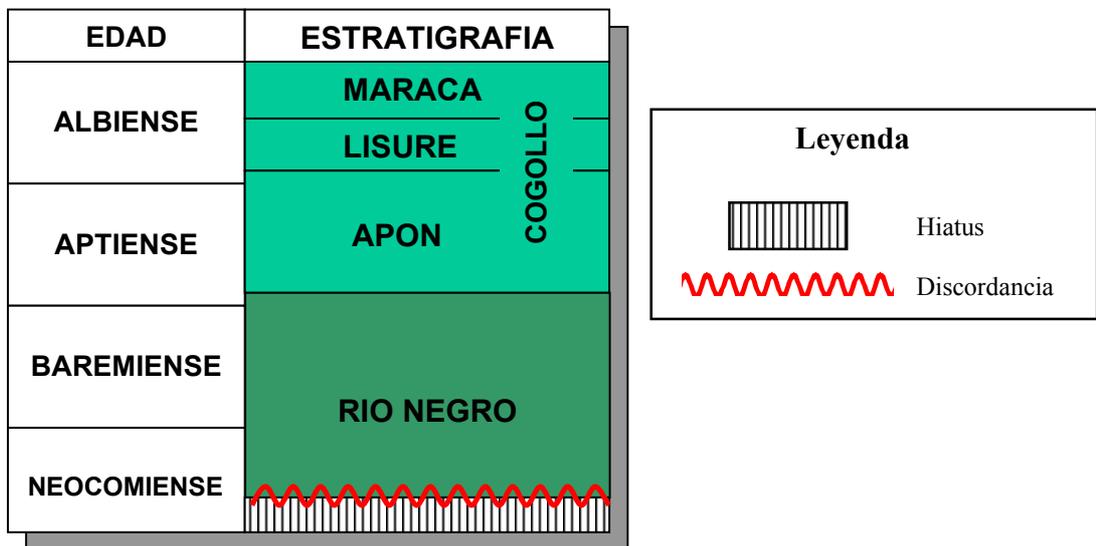


Figura 17. Relación estratigráfica entre las formaciones Río Negro, Apón, Lisure y Maraca, estas tres últimas pertenecientes al Grupo Cogollo.

3.1.4 Formación Apón [Cretácico (Aptiense - Albiense)]:

La Formación Apón, se compone de una caliza gris azulosa, dura, densa, en capas gruesas, generalmente fosilífera, con intervalos menores de lutitas que varían de calcáreas a arenosas. Un intervalo de lutitas calcáreas negras y calizas laminares delgadas sirvió para efectuar la subdivisión de esta formación en tres miembros, designados en forma ascendente como Tibú, Machiques y Piché, concordantes entre sí. El comienzo de una sedimentación transgresiva, está representado por el Miembro Tibú, que se caracteriza por calizas bioclásticas de aguas llanas, cuya edad está comprendida entre el Aptiense Inferior a Medio.

A finales del Aptiense, se produce la sedimentación de extensos y relativamente delgados horizontes de lutitas dolomíticas muy persistentes y de carácter regional, que ha sido denominado Miembro Guáimaro, con localidad tipo en el flanco occidental de Los Andes de Mérida.

Casi simultáneamente, una notable subsidencia en la parte central del Surco de Machiques, produce una sedimentación de tipo peculiar, caracterizada por la presencia de lutitas calcáreas, calizas laminares oscuras, frecuentemente bituminosas, con concreciones elipsoidales de caliza densa que contienen amonites, pelecípodos y restos de peces, este intervalo se denomina Miembro Machiques, el cual está restringido estrictamente al Surco de Machiques y representa un período de sedimentación alternante euxínica y de aguas oxigenadas, presentando características de buenas rocas madres de hidrocarburos.

A comienzos del Albiense, la Depresión de Machiques, vuelve nuevamente a la circulación normal; en la Plataforma de Maracaibo y Surco de Machiques, se reanuda la sedimentación de calizas bioclásticas de aguas oxigenadas denominadas Miembro Piché, de edad Albiense Inferior.

La edad de la Formación Apón, se ha determinado basándose en la presencia de numerosos fósiles, como amonites, moluscos y foraminíferos característicos del Aptiense – Albiense. Esta formación se presenta en contacto concordante con la Formación Lisure, suprayacente y la Formación Río Negro infrayacente. (Figura 17).

3.1.5 Formación Lisure [Cretácico(Albiense Medio)]:

En el Surco de Machiques, una ligera subsidencia durante el Albiense Medio produjo una sedimentación característica de areniscas glauconíticas, areniscas laminares, intercalaciones de calizas glauconíticas, arenosas y coquinoideas y algunas lutitas correspondientes a la Formación Lisure. Esta formación, ha sido extendida al subsuelo de la Plataforma de Maracaibo, pero más hacia el norte, aumenta su contenido de rocas carbonáticas y se incluye en el Grupo Cogollo sin diferenciar; mientras que hacia el sur, Lisure grada a la Formación Aguardiente con la cual es equivalente lateral parcial. En el subsuelo del Lago de Maracaibo, la Formación Lisure presenta un espesor promedio de 120 metros. Entre los fósiles de esta formación ubican a la unidad en el Albiense Medio a Superior, suprayacente a la Formación Apón, e infrayacente a la Formación Maraca (Figura 17).

3.1.6 Formación Maraca [Cretácico (Albiense Superior)]:

Durante el Albiense Tardío, las condiciones de sedimentación se igualaron de manera notable y un delgado y extenso intervalo de caliza fosilífera, Formación Maraca, se sedimentó sobre la Plataforma de Maracaibo y Los Andes Venezolanos. En el subsuelo del Lago de Maracaibo, esta formación promedia 14 metros de espesor y se caracteriza por calcarenitas bioclásticas fosilíferas.

El contacto entre la Formación Maraca y la Formación La Luna suprayacente, sugiere un violento cambio de ambiente, aunque las relaciones de campo entre ambas parecen

ser concordantes y hasta transicionales; este contacto representa un cambio litológico contrastante que coloca a las calizas con ostras, de ambiente nerítico muy cercano a la costa de la Formación Maraca, con calizas negras y densas con faunas de amonites y lutitas negras marinas de ambientes euxínicos de la Formación La Luna, postulándose una profundización de los mares, en un evento contemporáneo con la base transgresiva del Cretácico Medio - Superior.

3.1.7 Formación La Luna [Cretácico (Cenomaniense - Campaniense)]:

La Formación La Luna, constituye la unidad litoestratigráfica más característica del Cretácico de Venezuela Occidental. Consiste típicamente en calizas laminadas densas de color gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas, arcillas, calcáreas o no, de color negro; como carácter notorio, la formación presenta concreciones elipsoidales y discoidales de caliza negra dura, y es bastante común la presencia de ftanita negra.

La Formación La Luna, se sedimentó en un ambiente marino, bajo condiciones de fondo euxínicas que inhibieron la vida bentónica; en este ambiente reductor, se preservó materia orgánica y se formó pirita durante las fases diagenéticas. Debido a su alto contenido de materia orgánica, la Formación La Luna, fue por excelencia la principal generadora de hidrocarburos en la Cuenca del Lago de Maracaibo, donde se han encontrado espesores de hasta 81 metros.

Dentro de esta formación se reconoce el **Miembro Tres Esquinas** que consiste de areniscas glauconíticas, calcáreas y fosilíferas de color gris verdoso.

3.1.8 Formación Colón [Cretácico (Campaniense-Maestrichtiense)]:

La Formación Colón, se caracteriza por lutitas microfossilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son más arenosas hacia la parte superior, donde la

unidad pasa transicionalmente a la Formación Mito Juan (Figura 18). El contacto entre estas dos formaciones es difícil de reconocer por ser gradacional con intervalos lutíticos que poco a poco se hacen más arenosos.

El ambiente de sedimentación de la Formación Colón, se considera como marino abierto con buena circulación de masas de agua y desarrollo favorable de microfaunas bentónicas y planctónicas. Dentro de esta formación se reconoce el Miembro Socuy (Figura 18), que está constituido por calizas que forman la base de la Formación Colón en Perijá y subsuelo de áreas vecinas, constituyendo un horizonte de carácter regional en la parte septentrional de la Cuenca de Maracaibo.

| EDAD | ESTRATIGRAFIA |
|-----------------|---------------|
| MAESTRICHTIENSE | MITO JUAN |
| | COLON |
| CAMPANIENSE | SOCUY |
| | LA LUNA |
| SANTONIENSE | |
| CONIACIENSE | |
| TURONIENSE | |
| CENOMANIENSE | |

Figura 18. Relación estratigráfica entre las formaciones La Luna, Colon (Miembro Socuy) y Mito Juan.

3.1.9 Formación Mito Juan [Cretáceo (Maestrichtiense Superior)]:

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

Esta formación, representa una facies de aguas marinas poco profundas con intervalos salobres; que es uno de los criterios de diferenciación con la Formación Colón infrayacente (Figura 18), además de la presencia de arenas, es el marcado cambio de las faunas de los foraminíferos en comparación con los de Colón (Sutton, 1946).

El espesor de la Formación Mito Juan, varía entre 100 y 150 metros, con un espesor promedio de unos 200 metros; aunque en el Distrito Mara del Estado Zulia, fueron perforados unos 150 metros.

Las formaciones Colón y Mito Juan, se han comportado como roca sello sobre las rocas madres potenciales de la Formación La Luna, impidiendo la migración de petróleo hasta el Mioceno posiblemente.

3.1.10 Formación Guasare (Paleoceno):

La unidad se caracteriza por algunas capas de calizas fosilíferas intercaladas entre areniscas y lutitas localmente glauconíticas o carbonáceas. El espesor de la formación varía entre 30 y 400 metros en el Lago de Maracaibo. En la Plataforma de Maracaibo, está truncada por erosión en el tope de algunas estructuras anticlinales, especialmente al sur del Lago de Maracaibo.

La Formación Guasare, es concordante y transicional sobre las lutitas y limolitas de la Formación Mito Juan (Figura 19).

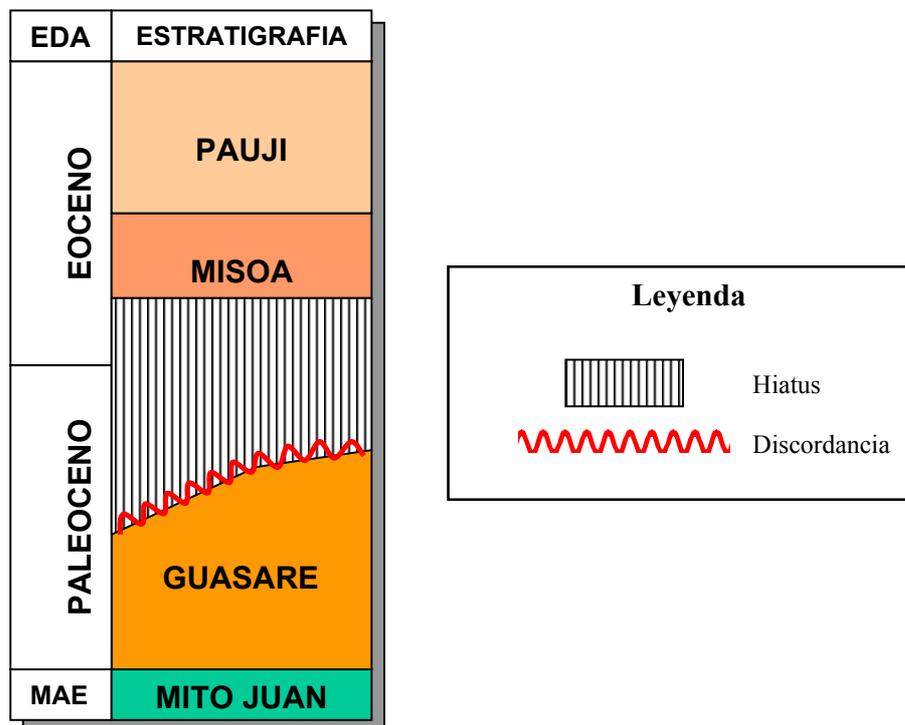


Figura 19. Relación estratigráfica entre las formaciones Mito Juan, Guasare, Misoa y Paují.

3.1.11 Formación Misoa (Eoceno):

Litológicamente, se define como una sección de areniscas cuarcíticas de color gris claro en capas compuestas potentes, con intercalaciones de lutitas laminadas, micáceas y carbonosas. Las areniscas de esta formación, constituyen los yacimientos de petróleo más importantes de la Cuenca del Lago de Maracaibo. En el subsuelo se aplican términos informales, tales como, "Arenas B y C" con base en características de los registros eléctricos.

Van Veen (1972), al estudiar los ambientes sedimentarios de las formaciones Misoa y Mirador, indica que constituyen de un complejo fluvio – deltáico, y que la Formación Misoa, representa ambientes de un complejo deltáico en los cuales se reconocen llanuras deltáicas y canales distributarios y el frente del delta. El mismo autor,

describe tres tipos de areniscas en secciones de la Formación Misoa en el subsuelo del Lago de Maracaibo, que son:

- Areniscas de espolón aluvial.
- Areniscas de canal distributivo, y
- Areniscas de barreras litorales.

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

La Formación Misoa se encuentra en contacto discordante con la Formación Guasare, infrayacente y concordante con la Formación Pauji suprayacente (Figura 19).

3.1.12 Formación Paují (Eoceno Medio):

Litológicamente, se compone de una gruesa sección de lutitas macizas a fisiles de color gris a gris oscuro; las lutitas no son arenosas. Localmente las lutitas contienen concreciones ferruginosas, algunas veces calcáreas y otras silíceas, redondeadas a elipsoidales, el centro de las concreciones comúnmente es de pirita y calcita.

La rica y variada fauna de foraminíferos, indica que la formación a través del área de depositación reconocida, fue depositada en aguas limpias y profundas, de talud superior y medio. La sedimentación de Paují, constituye una transgresión marina desde el este - noreste, solapando sobre la Formación Misoa.

El espesor de la Formación Paují, en el Río San Pedro es de unos 1200 metros y se puede considerar como una sección completa; en otras regiones, se ha perdido gran parte de la unidad durante el período de erosión que comenzó en el Eoceno Superior; por ello, en las perforaciones del centro del lago, se encuentra solamente en forma esporádica.

La Formación Paují, suprayace concordantemente sobre las areniscas de la Formación Misoa (Figura 8). El contacto superior se presenta en relación de discordancia con la Formación Icotea, o en ocasiones con la Formación La Rosa suprayacente (Figura 20).

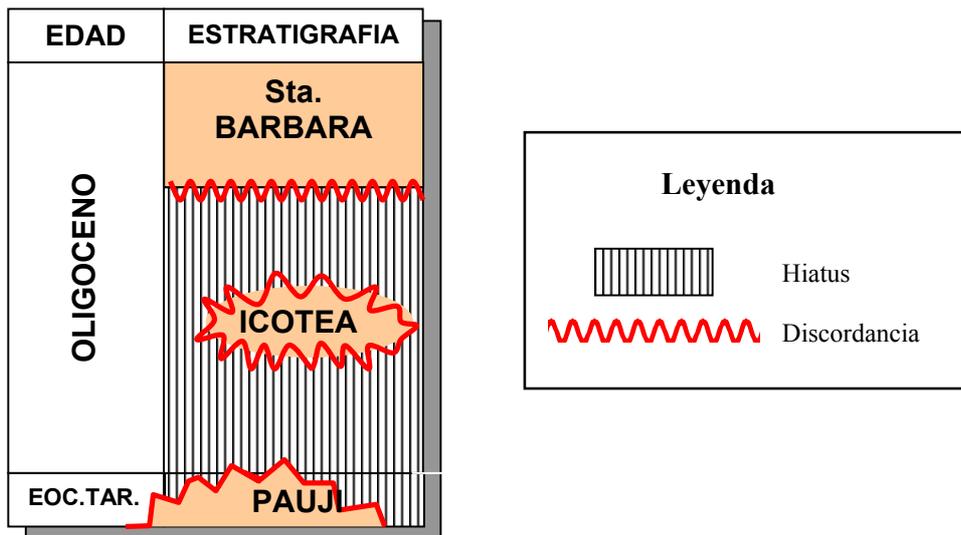


Figura 20. Relación estratigráfica entre las formaciones Paují, Icotea, y La Rosa (Miembro St. Barbara).

3.1.13 Formación Icotea (Oligoceno):

La Formación Icotea, es una unidad que se presenta esporádicamente en el subsuelo del Lago de Maracaibo, comprendida entre la discordancia del Eoceno Superior y la

del Mioceno. La localidad tipo fue designada por Hass y Hubman (1937), en el Sinclinal de Icotea, a lo largo de la costa del Distrito Bolívar en el Estado Zulia.

Litológicamente, consiste de limolitas y arcillitas duras, macizas, típicamente de color blanco a gris claro, pero localmente abigarradas en verde claro, amarillo o rojo pardusco, ocasionalmente carbonáceas. En el lado oeste del Lago de Maracaibo, contiene además capas de arenisca verde o gris, y pasa gradualmente a la parte basal del Grupo El Fausto.

Debido a que la Formación Icotea, se depositó en las depresiones de la discordancia del Eoceno, sus espesores son sumamente variables a través de la Cuenca de Maracaibo. En el área tipo, el espesor varía de 20 a 180 metros, en el Sinclinal de Icotea. En la costa occidental del lago, el espesor es de alrededor de 15 metros; mientras que en el Campo Boscán, es de 200 metros.

La ausencia de fósiles y la poca información disponible, dificulta la identificación de su ambiente de depositación; sin embargo, algunos autores, postulan la posibilidad de depósitos eólicos en las zonas remanentes de la superficie de la discordancia.

La formación yace en relación de discordancia angular sobre la superficie erosionada del Eoceno (Formación Pauji) (Figura 20), en toda el área de la Cuenca de Maracaibo. Está cubierta discordantemente por la Formación La Rosa (Miembro Santa Bárbara) (Figura 20).

3.1.14 Formación La Rosa (Mioceno Temprano):

Esta formación consiste en su mayor parte de lutitas arcillosas, verdes, más o menos fosilíferas, con una cantidad subordinada de capas de areniscas e interlaminaciones de areniscas y lutitas. En el lado oeste del lago, la formación consiste casi completamente de lutitas arcillosas, verdosas y fosilíferas con una pequeña cantidad de areniscas.

El Miembro Santa Bárbara, representa la primera etapa de la invasión marina, sobre la superficie erosionada del Eoceno y/o de la Formación Icotea. Los sedimentos, y la escasa fauna de moluscos, son indicativos de aguas poco profundas. La Lutita de La Rosa, suprayacente, corresponde a la máxima transgresión de un mar poco profundo, que cubrió la mayor parte de la Cuenca de Maracaibo. La Arena Intermedia y la Arena La Rosa (nombres informales), representan el proceso regresivo siguiente, y se caracterizan por depósitos de barras de playa. Hacia el tope, los depósitos presentan mayor influencia deltáica, haciéndose similares a los del Miembro Lagunillas Inferior, de la Formación Lagunillas suprayacente (Figura 21).

| EDAD | ESTRATIGRAFI |
|-------------------------|---------------------|
| PLEISTOCENO | EL MILAGRO |
| PLIOCENO | ONIA |
| MIOCENO TARDIO | ISNOTU |
| MIOCENO MEDIO | LAGUNILLAS |
| MIOCENO TEMPRANO | LA ROSA |

Figura 21. Relación estratigráfica entre las formaciones La Rosa, Lagunillas, Isnotu, Onia y El Milagro.

El espesor de esta formación, en el área tipo, es de 180 a 250 metros, y alcanza su espesor máximo en el Sinclinal de Icotea, situado 4 kilómetros al norte del Campo La Rosa. En el Alto de Pueblo Viejo, está ausente, probablemente por no haberse sedimentado. Los espesores variables de esta formación, reflejan su sedimentación sobre una superficie erosionada irregular.

La Formación La Rosa, yace con fuerte discordancia angular sobre la Formación Misoa, del Eoceno, o sobre la Formación Icoatea (Figura 21), en las áreas donde ésta se depositó, en cuyo caso es paraconcordante. Hacia arriba, la formación pasa transicionalmente a la Formación Lagunillas (Figura 21). Hacia el oeste del Lago de Maracaibo, la formación pasa lateralmente a la Formación Macoa; hacia el noreste del lago, La Rosa se correlaciona con la Formación Agua Clara, de la Cuenca de Falcón.

Considerada en conjunto, la Formación La Rosa es de ambiente marino oscilante y de poca profundidad.

3.1.15 Formación Lagunillas (Mioceno Medio a Tardío):

La Formación Lagunillas, es una unidad del subsuelo del Lago de Maracaibo, cuya unidad tipo es el campo petrolífero de Lagunillas en el Distrito Bolívar del Estado Zulia, sin que se haya designado una localidad tipo concreta. Se extiende en el subsuelo del lago y aflora parcialmente al este del mismo.

Szenk (1959), propuso una subdivisión de cinco miembros para esta formación: Marlago, Ojeda, Laguna, Urdaneta y Bachaquero; modificando así la subdivisión de Sutton (1946), el cual, proponía tres miembros: Lagunillas Inferior o "Arena Inferior de Lagunillas", Laguna y Bachaquero. Esta nueva subdivisión, apareció, porque con el progreso de la perforación en la parte central del Lago de Maracaibo, se reconocieron cambios laterales de la Formación Lagunillas en los cuales la subdivisión de Sutton no era aplicable.

El espesor de la Formación Lagunillas es variable; en forma general engrosa en dirección oeste y en los campos de Tía Juana y Urdaneta, presenta 450 y 900 metros respectivamente.

En la localidad tipo y en la mayor parte de la Cuenca de Maracaibo, la Formación Lagunillas, suprayace concordantemente a la Formación La Rosa (Figura 21), excepto en aquellas áreas donde ésta no se depositó como los altos de Pueblo Viejo y Ceuta. En dichas áreas, la formación pasa transicionalmente a la Formación Los Ranchos.

3.1.16 Formación Isnotú (Mioceno Tardío):

La Formación Isnotú, constituye la unidad intermedia del Grupo Guayabo, cuya secuencia es Palmar, Isnotú y Betijoque, que se reconoce en la parte suroccidental y suroriental de la Cuenca de Maracaibo.

La formación se caracteriza, por la intercalación de arcillas y areniscas, con cantidades subordinadas de arcillas laminares, carbón y conglomerados. Las arcillas, que constituyen cerca del 65% de la unidad, son macizas, localmente arenosas y de color gris claro; algunas son carbonosas y contienen restos de plantas. Las areniscas se presentan en capas de 2 a 3 metros, de color gris claro a blanco, de grano fino a finamente conglomeráticas, localmente micáceas y con rizaduras; dentro de las areniscas, es común encontrar pelotillas de arcilla blanca. Dispersas en la sección, aparecen delgadas capas de lignito, así como conglomerados mal escogidos, estos últimos más frecuentes en Mérida y Táchira.

Salvo restos indeterminados de plantas, la formación carece casi totalmente de fósiles. Su edad, se deduce a partir de correlaciones regionales. Salvador (1961), indicó que el ambiente de sedimentación es fluvial y Fiorillo (1976), opina que la Formación Isnotú, es el resultado de la sedimentación de abanicos aluviales y ríos entrelazados, controlada por variaciones climáticas y por movimientos tectónicos del levantamiento andino.

En la región tipo, la unidad es discordante sobre la Formación Paují y unidades más antiguas. Mas al sur, es concordante y transicional sobre la Formación Palmar. Infrayace concordante y transicionalmente a la Formación Betijoque.

El espesor de la Formación Isnotú, es de unos 1100 metros en el área tipo; según Sutton, permanece constante a lo largo de la faja de afloramientos en el frente de montañas de Los Andes; Ramírez y Campos (1972), señalan unos 300 metros de espesor.

3.1.17 Formación Onia (Plioceno):

Esta constituida por areniscas y limolitas gris verdoso de grano grueso a fino, micáceas y friables, con un conjunto detrítico de minerales pesados metamórficos característicos de las "Capas de Onia". Las limolitas, contienen localmente capas calcáreas delgadas de color amarillo.

El espesor de la formación, varía notablemente de oeste a este, entre 1220 y 95 metros. La Formación Onia, carece de fósiles y su edad se considera Plioceno sin mayor definición.

En la zona de Maracaibo, se encuentra en discordancia sobre las formaciones La Villa, Lagunillas y otras más antiguas. El contacto superior, es transicional con la Formación El Milagro (Figura 21).

3.1.18 Formación El Milagro (Pleistoceno):

Esta formación consiste de arenas friables, finas y gruesas, muy micáceas, de color crema a pardo rojizo, limos micáceos de color gris claro, interestratificados con arcillas arenosas, rojas y pardo amarillentas y lentes lateríticos bien cementados. Hay dos capas de arcillas arenosas y limosas, con abundantes fragmentos y troncos de

madera silicificada. Estas capas cubren horizontes caracterizados por abundantes nódulos de hierro y formación laterítica, que fueron interpretados como paleosuelos, según Graf (1969). El paleosuelo superior, separa la gruesa unidad inferior de la sección arenosa, característica de la Formación El Milagro. El paleosuelo inferior está desarrollado sobre el centro del arco, y separa la Formación El Milagro de una unidad verdosa, posiblemente equivalente a la Formación Onia. El espesor de esta unidad, varía de 0 a 33 metros en el Arco de Maracaibo, y aumenta rápidamente hacia el sur, alcanzando unos 150 metros en el Pozo Regional - 1, a unos 10 kilómetros al suroeste de Maracaibo. En el subsuelo, se desconoce su espesor.

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

No se menciona la presencia de fósiles en la formación, excepto abundantes fragmentos de madera silicificada, incluyen troncos enteros de árboles. Su posición estratigráfica y el grado de litificación, sugieren una edad Pleistoceno para estos sedimentos con posible extensión al Plioceno.

3.2 TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

3.2.1 Generalidades:

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. Estos elementos tectónicos mayores fueron clasificados por Miller et al. (1958) como "cinturones móviles"; dentro de los cuales, se desarrolla un amplio sinclinorio que integra estructuralmente a la Cuenca Petrolífera del Lago de Maracaibo. Además de estos elementos, dicha cuenca se encuentra limitada por tres sistemas de fallas que se ubican de manera aproximadamente triangular, integrada por el sistema de la Falla de Boconó al este y sureste, el sistema de la Falla de Santa Marta al oeste y suroeste y el sistema de la Falla de Oca hacia el norte, conformando así el denominado Bloque de Maracaibo (Figura 22). Otros elementos de importancia, son los anticlinorios de Falcón hacia el noreste, la Falla de Valera al este, la Falla del Tigre al noroeste y las fallas que se ubican dentro de la cuenca del lago, siendo las más importantes la Falla Lama - Icotea, las fallas de Urdaneta, Pueblo Viejo y VLE-400 (Figura 22)

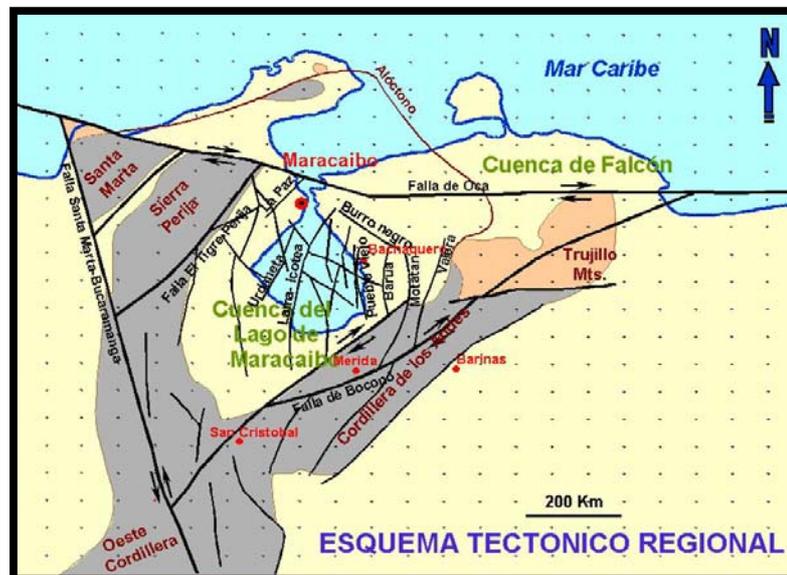


Figura 22. Esquema tectónico regional que muestra los elementos estructurales más importantes dentro de la Cuenca del Lago de Maracaibo (Tomado de archivo digital de PDVSA 2002).

La Cuenca del Lago de Maracaibo, corresponde a un dominio intracratónico relativamente estable rodeado por límites de placas activas. Debido a su particular posición, la cuenca grabó las interacciones sucesivas entre la placa continental Suramericana y las placas oceánicas del Caribe al norte y del Pacífico al oeste, sufriendo regímenes superimpuestos de extensión y compresión.

3.2.2 Evolución Tectónica

La evolución tectónica de la Cuenca de Maracaibo puede resumirse de la siguiente manera:

3.2.2.1 TRIASICO-JURASICO:

Durante este periodo el este de Venezuela esta marcado por la ruptura de Pangea, que separa a Suramerica de África. En esta etapa Norteamérica comienza a separarse de Suramerica y se estima que el Bloque Yucatán es emplazado en el área de la cuenca de Maracaibo (Figuras 23 y 24). Las placas de Suramerica y Norteamérica se mueven al norte y oeste desde su posición inicial con respecto al esferoide de la tierra y la placa del Caribe adquiere su posición presente.

Este período, se caracteriza por la formación de grábenes orientados en dirección noreste - suroeste, y por la presencia de un fallamiento normal típico de las fases de extensión cortical.

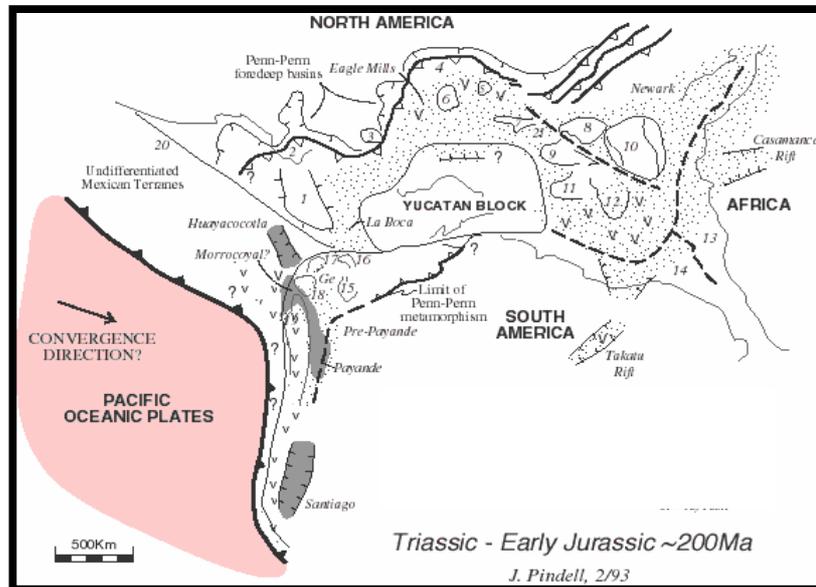


Figura 23. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Triásico-Jurásico Temprano, donde se observa el supercontinente Pangea conformada por África, Norteamérica y Suramérica. En la Cuenca de Maracaibo hay metamorfismo como efecto de la orogénesis Heciniense en el Permo-Triásico (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

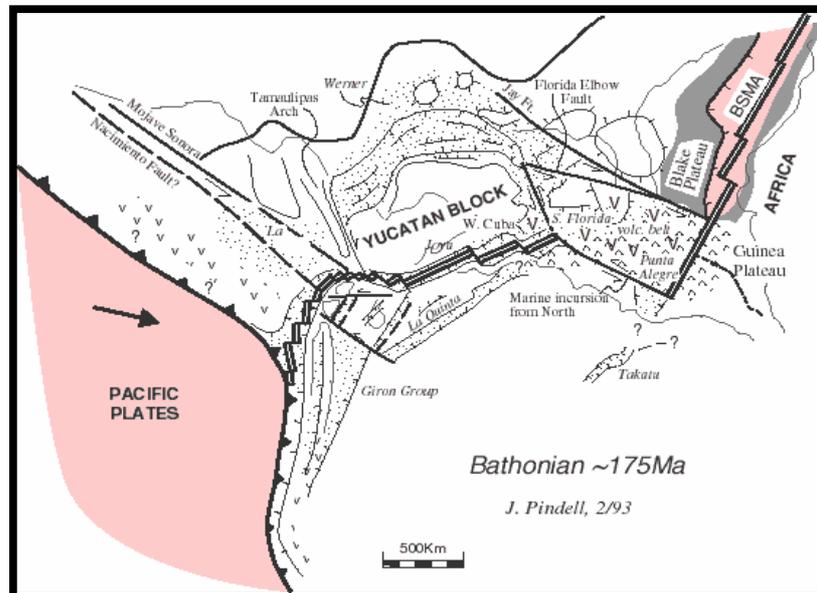


Figura 24. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Jurásico Medio (Bathoniense), Comienza el proceso de la apertura de Pangea por un proceso de rifting. En la Cuenca de Maracaibo se producen grandes surcos (grabens) donde es sedimentada la Formación La Quinta (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

3.2.2.2 CRETACICO:

Durante el Cretácico, la Cuenca de Maracaibo se comporta como un margen pasivo y cuya sedimentación depositada provenía de Colombia hacia el proto- Caribe. Esto incluye los carbonatos poco profundos de la Formación Apón y los sedimentos profundos de la Formación La Luna, principal recurso de la Cuenca de Maracaibo. Estos depositos fueron seguidos por el Miembro Socuy de la Formación Colon (calcáreo), y finalmente por una secuencia clástica que comprende las Formaciones Colon y Mito Juan.

Durante el Cretácico Temprano (Neocomiense) la separación de Suramerica y Norteamérica había creado grandes surcos, los cuales poseían sedimentos Triásicos-Jurásicos, estos surcos finalmente fueron rellenados por sedimentación cretácica correspondiente a la Formación Río Negro (Figura 25).

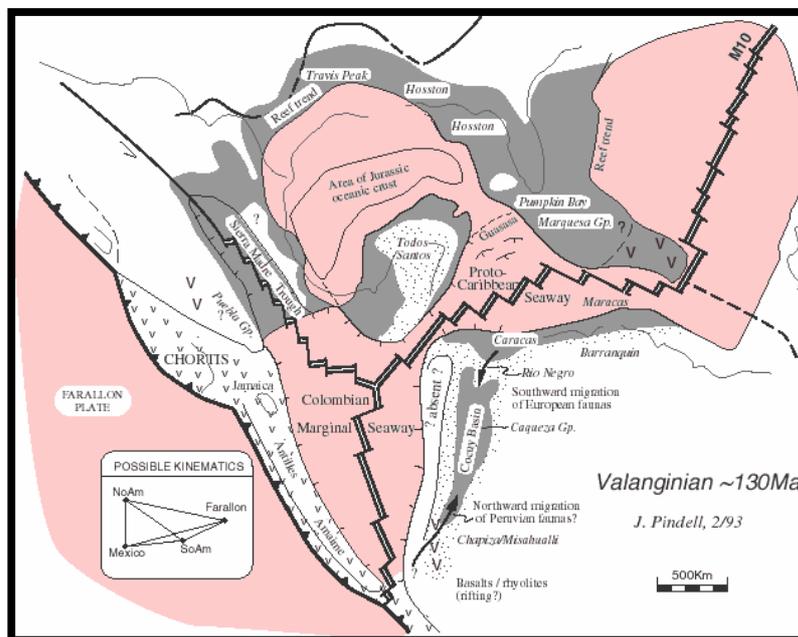


Figura 25. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Valanginiense), Continua la apertura continental y Norteamérica es separada de sur-america. La placa de farallón desarrolla un extenso arco volcánico al oeste, y en la cuenca de Maracaibo es depositada la Formación Río Negro (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

Para finales del Cretácico Temprano, la Cuenca de Maracaibo comienza a comportarse como una cuenca de margen pasivo, desarrollándose una extensa plataforma carbonática donde se depositaron las formaciones correspondientes al Grupo Cogollo (Formaciones Apón, Lisure y Maraca), (Figuras 26 y 27).

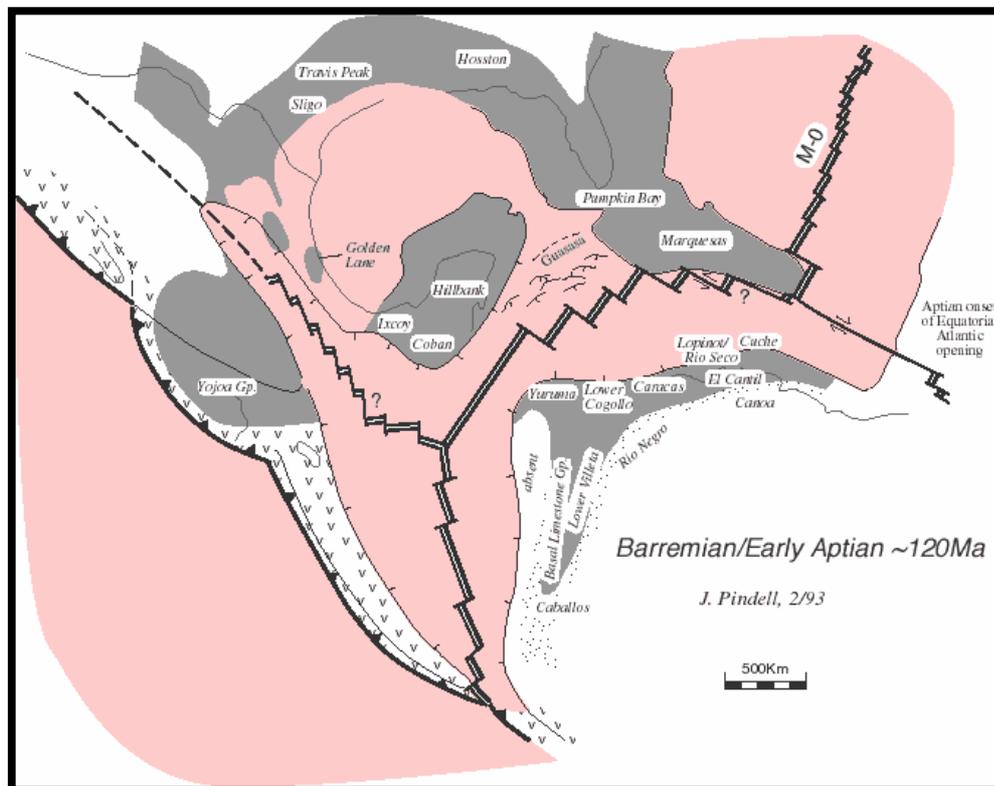


Figura 26. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Barremiense), Continúa la apertura continental y el desarrollo del arco de islas firmándose una gran cuña de sedimentos entre sur-América y la placa de farallón. En la cuenca de Maracaibo comienza la sedimentación del Grupo Cogollo (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

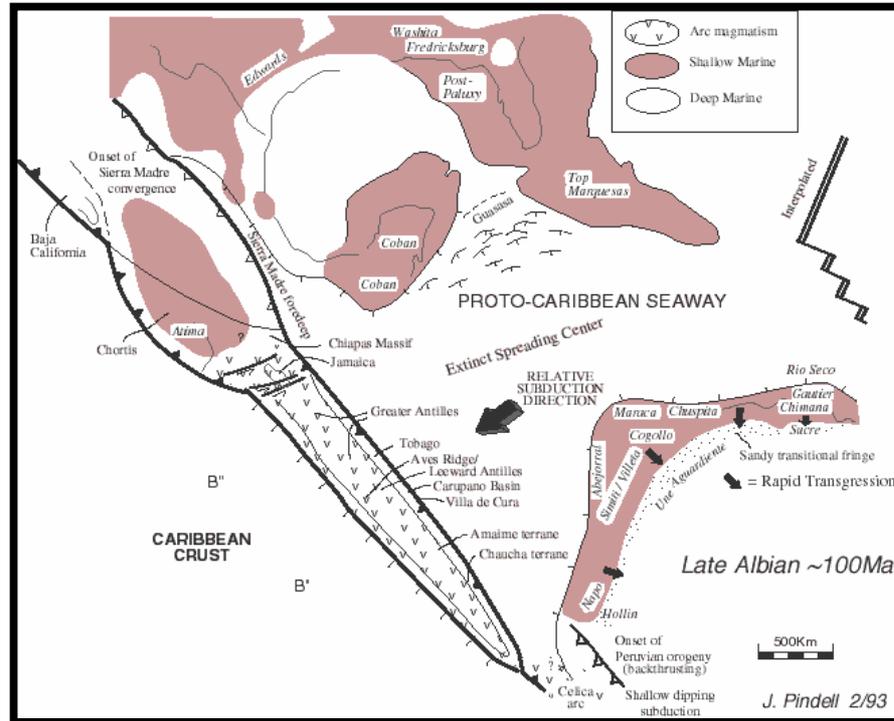


Figura 27. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Temprano (Albiense). Se extingue la expansión del piso oceánico y adquiere su configuración el proto-Caribe, La placa de Farallón comienza a desplazarse hacia el oeste y se produce una relativa subducción hacia el oeste, Hay un avance rápido del mar sobre la cuenca de Maracaibo y es sedimentada la Formación Maraca. (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

El Cretácico Tardío (Cenomaniense-Turonense), se observa un desarrollo aun mas marcado de la trasgresión marina y es depositada una espesa secuencia clástica-cabonática correspondiente a la Formación La Luna (Figura 28).

Este periodo marca la transición a un régimen compresivo en el Cretáceo Tardío y Paleoceno Temprano. La compresión es el resultado de la colisión y abducción del Arco Volcánico Pacífico al oeste con la Placa Suramericana. El ciclo marino Cretáceo, sufre un cambio gradual a consecuencia de la Orogénesis del Cretáceo Superior, evidenciada por la sedimentación clástica de las formaciones Colón y Mito

Juan. Este ciclo culminó con un levantamiento general de tierras en el Cretáceo Superior.

Durante el Campaniense-Maestrichtiense la cuenca de Maracaibo es sometida a una serie de compresiones producidas por la placa del Caribe con la de Suramerica en el oeste de Colombia. Al mismo tiempo, una convergencia norte-sur entre las placas de Norteamérica y Suramerica producen deflexiones al oeste de Venezuela (Figuras 29 y 30).

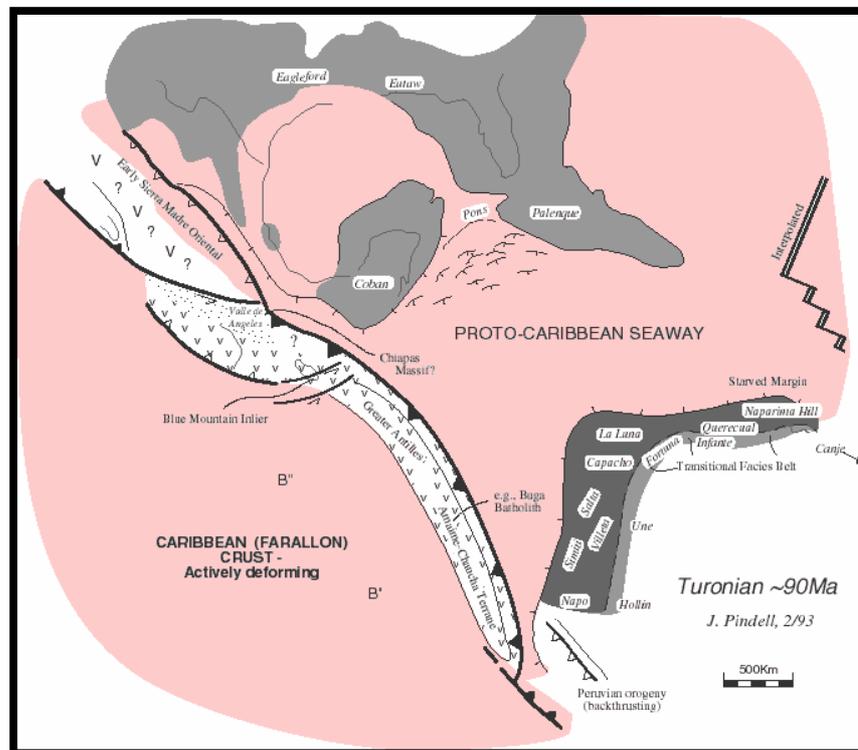


Figura 28. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Turoniense), Terminó con la colisión del Arco del Pacífico y la Placa Suramericana y la subsidencia flexural de la cuenca de antepaís. Se comienza la sedimentación de la Formación La Luna (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

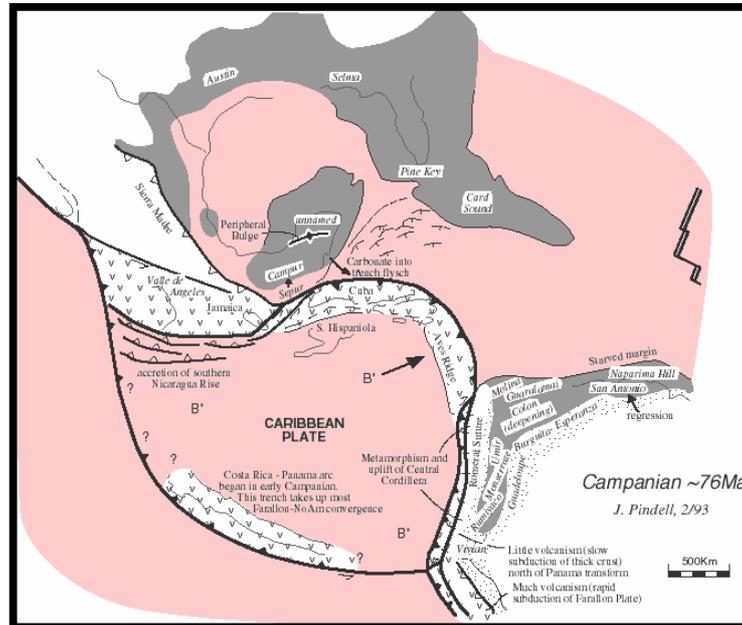


Figura 29. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Campaniense), Comienza el desplazamiento hacia el oeste de la placa de Farallón ahora llamada del Caribe produciendo un sistema compresivo en la cuenca de Maracaibo y al oeste de Colombia. En esta etapa son depositadas las formaciones Colon y Mito Juan (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

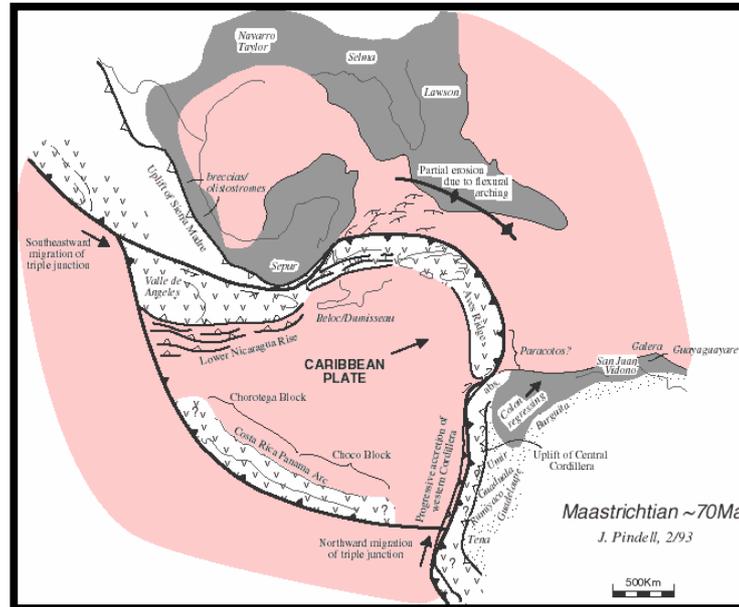


Figura 30. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío (Maastrichtiense), Continúa el avance de la placa del Caribe hacia el oeste produciendo deformación en toda la cuenca, en la zona occidental de Colombia hay una progresiva acresión y se produce una marcada retirada del mar, evidenciada en la sedimentación de la Formación Colon (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

3.2.2.3 PALEOCENO:

Durante el Paleoceno Temprano-Medio, continua la deflexión, creando una cuenca *Foredeep* en el Proto-Caribe, y son depositadas las arenas y calizas de la Formación Guasare. El choque oblicuo de la placa del Caribe y Suramerica crea un levantamiento en la periferia este del Cratón de Guayana al sur y sur-oeste de la cuenca de Maracaibo, creando la fuente de sedimentos de la Formación Guasare (Figura 31).

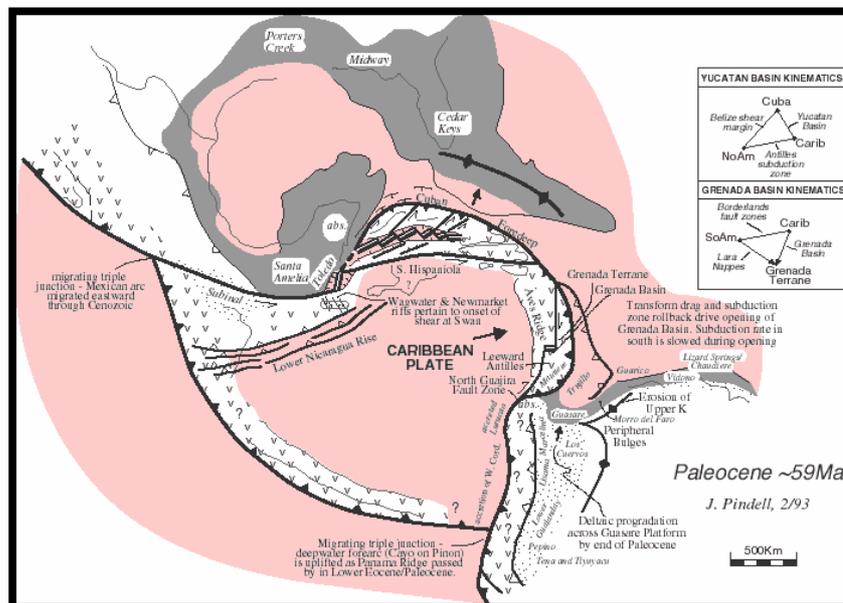


Figura 31. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno, Continúa el avance de la placa del Caribe hacia el oeste produciendo deformación y flexuramiento en toda la cuenca, Se produce el levantamiento de la cordillera central colombiana y hay una marcada progradación deltáica en la cuenca de Maracaibo producto de estos levantamientos, sedimentándose la Formación Guasare (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

Próximo a este levantamiento en el sur de la Cuenca de Maracaibo son depositadas las arenas, lutitas y carbones de la Formación Catatumbo como depósitos aluviales y de plano deltáico.

Para el Paleoceno Tardío, la curvatura flexural del levantamiento del Caribe sugiere la creación de una rampa lateral-frontal originando el levantamiento del arco la Avispa-Palmar, separando la Cuenca de Maracaibo (Pindel *et al*, 1998 en IRT). En el SW, sedimentos fluvio-lacustrinos de la Formación Los Cuervos son depositadas, mientras que lutitas marinas son depositadas al NE en el tope de la Formación Guasare.

Al oeste la subducción de la placa del Caribe debajo de Colombia produce el levantamiento de la Cordillera Central. Esta orogénesis de Cretácico Tardío-Paleoceno producen la exposición de la Formación Guasare produciendo la erosión de todas las secuencias depositadas, generando la discordancia Paleoceno-Eoceno Temprano.

3.2.2.4 EOCENO:

Durante el Eoceno Temprano-Medio, el alto del Palmar-Avispa toma una tendencia NW-SE como el frente de la placa del Caribe que rota en sentido horario. Continúa la rápida subsidencia creada por la tectónica Caribe y es depositada la secuencia de las arenas C y B de la Formación Misoa (Figura 32).

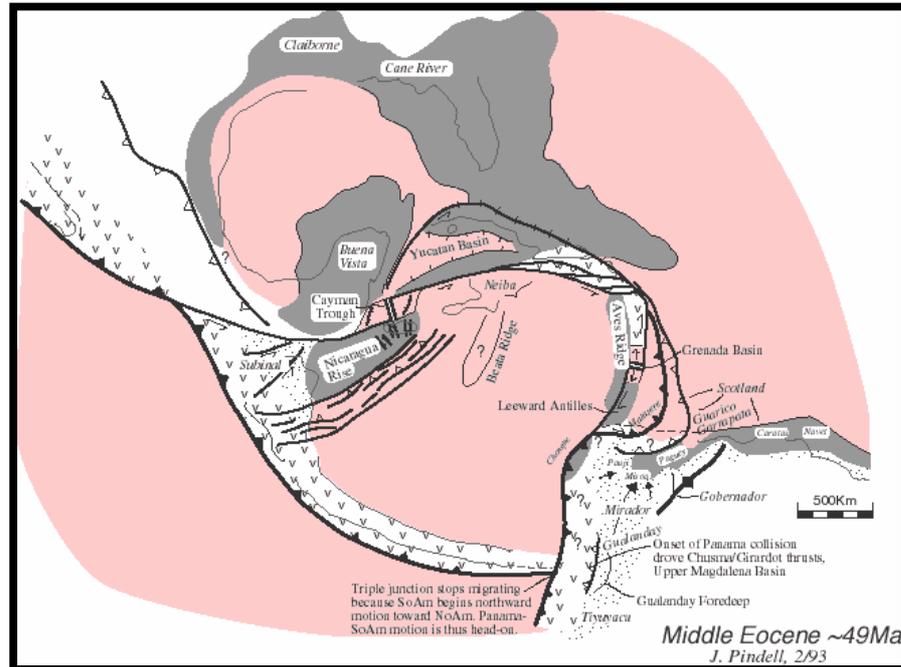


Figura 32. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Eoceno Medio, El avance del frente de la placa del Caribe sobre la cuenca de Maracaibo produce el adosamiento de las napas de Lara bajo un sistema transpresivo, son sedimentadas las Formaciones Misoa y Pauji (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

Para el Eoceno Medio, las napas del Caribe, son adosadas al margen continental bajo una etapa transpresiva producto del movimiento de la placa de Suramerica que se mueve al Oeste con respecto a la placa del Caribe (Figura 32).

Durante el Eoceno Tardío, el macizo de Avizpa-Palmar se desplaza hacia el SW y emerge junto con el levantamiento andino, formando una estructura “forebulge”. En la zona frontal de este levantamiento continua desarrollándose el “foredeep” y aumenta la carga litoestática producto del frente de deformación.

Como las Napas del Caribe son expuestas, se incrementa la carga de sedimentos causada por un marcado sistema compresivo que produce una trasgresión a través de la Cuenca de Maracaibo evidenciado en lutitas fluvio-datáicas, areniscas y capas de

carbón de la Formación Carbonera depositados en la zona del macizo Avispa-Palmar.

La espesa sección de sedimentos de la Formación Misoa y el emplazamiento de las Napas de Lara al NE del Lago de Maracaibo constituyen la primera y significativa fase de generación y migración de los hidrocarburos. La migración del petróleo proviene de la cuenca “*foredeep*” al el sur y este a lo largo de las capas poco consolidadas de arenas de Misoa.

Cercano al final del Eoceno, continua la migración al norte y oeste de la placa de Suramerica resultando la aparición del sistema de fallas El Tigre producto del sistema transpresivo. Una serie de fallas con orientación norte-sur son originadas en la cuenca. Este conjunto de fallas normales originadas durante la fase extensional en el Jurásico fueron reactivadas periódicamente hasta el Eoceno Temprano. Las mayores fallas son de oeste a este, Tigre, Icotea, Pueblo Viejo y Valera. Algunos desplazamientos a lo largo de estas fallas mayores, incluyendo la falla de Icotea que pasa justo al oeste del Bloque V Centro y Bloque VI Lamar, cambiaron su carácter extensional a fallas transcurrentes con componente sinistral durante el Eoceno Medio-Inferior, periodo en el cual se origina una compresión oblicua producida entre las placas del Caribe y Sur-america.

3.2.2.5 OLIGOCENO:

Durante el Oligoceno la Napas de Lara adquieren su posición actual y el mar Proto-Caribe se retira creando una mayor discordancia. Esta retirada esta marcada por el comienzo de la orogénesis Andina. En el Oligoceno Superior como la placa de Suramerica continua su migración hacia el oeste, y fallas transcurrentes se desarrollan a lo largo del aloctono obducido (Napas de Lara) (Figura 33).

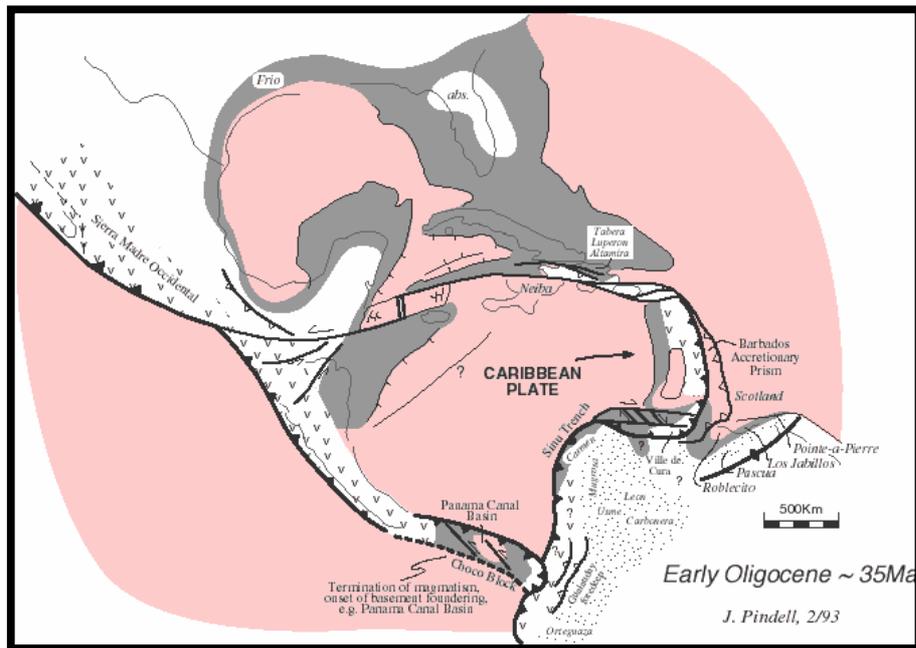


Figura 33. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Oligoceno Temprano. El avance de las napas del Caribe (napas de Lara) producen un sistema transpresivo con fallas transcurrentes en la cuenca de Maracaibo produciendo una inversión de la cuenca. (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

La discordancia del Eoceno (Formación Misoa) continua durante el Oligoceno removiendo toda la sedimentación previa del Miembro Santa Barbara de la Formación La Rosa del Eoceno Superior. Varias hipótesis plantean que la falta de sedimentos del Oligoceno en la Cuenca de Maracaibo. Una de estas hipótesis, propuesta por Pindell (1998) plantea que la erosión es el resultado de los cambios isostáticos alrededor del flanco sur de la Cuenca de Flacón (nor-este de la Cuenca de Maracaibo), producto del comienzo de fallamiento transcurrente. Esta tendencia es el resultado de fallamiento normal acompañado de orogénesis y contemporáneamente fallamiento sinistral, como son las fallas de Icotea y la falla VLE-400.

Durante Oligoceno Tardío, la orogénesis andina es producida por la Placa del Caribe al subducir por debajo de la Placa suramericana aproximadamente a través de la Cuenca de Maracaibo. El nor-este de la Cuenca de Maracaibo, y la isostacia de la

Cuenca de Flacón producen fallamiento normal. En el oeste, la Proto-Sierra de Perijá aporta sedimentos a la Cuenca de Maracaibo evidenciado por los depósitos continentales de la Formación Peroc. El levantamiento de la Sierra de Perijá y los Andes comienza y son depositadas espesas secuencias continentales de abanicos aluviales. El Lago de Maracaibo es expuesto y continua la erosión hasta el final del Oligoceno. Se estima que 3 Km de sedimentos fueron erosionados en el nor-este de la Cuenca de Maracaibo.

3.2.2.6 MIOCENO:

Durante el Mioceno inferior, el equilibrio isostático se produce y la erosión de la topografía originada por la orogénesis andina producen una marcada subsidencia en la Cuenca de Maracaibo, depositándose la Formación La Rosa (Figura 34).

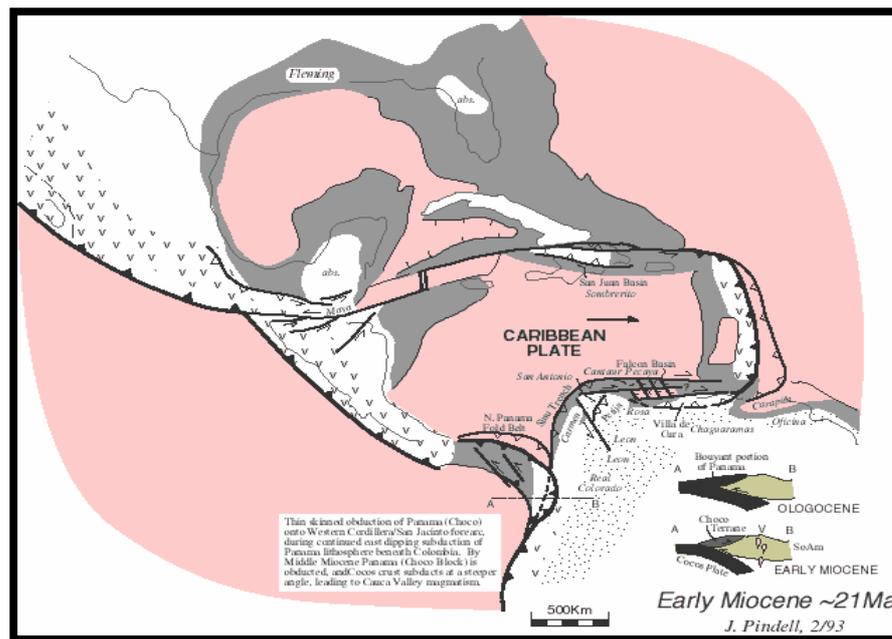


Figura 34. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Mioceno Temprano. El avance del arco de Panamá sobre el borde nor-occidental de Colombia genera otro sistema transpresivo en la cuenca de Maracaibo, comienza a levantarse la sierra de Perijá y se generan numerosos sistemas de fallas en la cuenca. Se sedimenta la Formación La Rosa (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

Para el Mioceno Medio se deposita sobre la Formación La Rosa sedimentos fluviales correspondientes a la Formación Lagunillas. La espesa secuencia sedimentaria de la Formación Lagunillas es contemporánea al levantamiento y erosión de la Sierra de Perijá al oeste del Lago de Maracaibo, y aproximadamente 3 o 4 Km de sedimentos son depositados.

La Figura 35 muestra la posición relativa de las placas durante el Mioceno Tardío. El sistema compresivo generado al sur-este y el sistema de fallas destrales de los Andes evidencian el movimiento relativo al sur-este de la Placa del Caribe. La plataforma de Maracaibo migra al norte y este hasta su posición actual causado por la colisión del Arco de Panamá con el oeste de la Cordillera central de Colombia, continuando la compresión de las placas del Caribe y Suramerica. Como resultado de este levantamiento se produce un influjo adicional de sedimentos en la Cuenca de Maracaibo produciendo su vasculamiento.

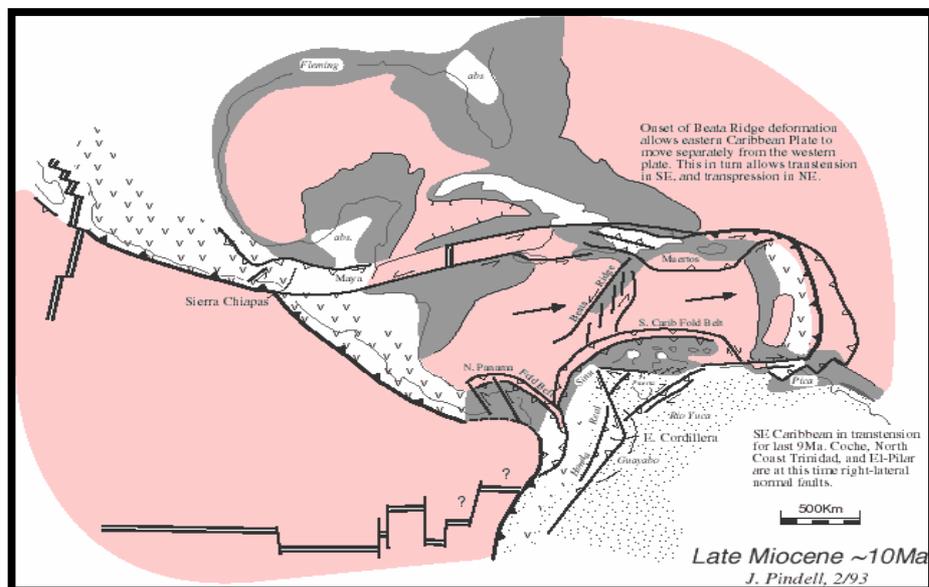


Figura 35. Configuración estructural de la cuenca de Maracaibo durante el Mioceno Tardío, El progresivo avance del frente de deformación de la placa del Caribe representado por las napas del Caribe en la cuenca de Maracaibo y el avance del arco de Panamá sobre Colombia producen el levantamiento andino aumentando en el espesor de sedimentos en la cuenca produciendo vasculamiento hacia el sur, se generan los tres importantes sistemas de fallas que conforman la cuenca de Maracaibo. (Tomado de PDVSA/ International Reservoir Technologies, IRT 2002).

Para finales del Mioceno, el movimiento relativo entre las placas de Suramerica y del Caribe este-oeste, originan una gran falla de componente dextral conocida como falla de Oca. La falla de Oca separa la Cuenca de Maracaibo del arco de sedimentos alóctonos derivados por el frente de deformación al pasar la Placa del Caribe al norte de la Cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno -Eoceno Medio

3.2.2.7 PLIOCENO-PLEISTOCENO:

Durante el Plio-Pleistoceno, una compresión este - oeste, crea la estructuración más reciente de las fallas de dirección norte - sur. Esta compresión es atribuida a la colisión final del Arco de Panamá.

CAPITULO IV
MARCO GEOLÓGICO LOCAL

4. GEOLOGÍA LOCAL

4.1 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

4.1.1 Generalidades

El Campo Mara Este, presenta una sedimentación típica de plataforma que varía según las épocas de depositación, de marina a deltaica. Sobre un basamento mayormente cristalino y de edad Pre-Cretácica, la secuencia sedimentaria del Campo Mara presenta en su parte inferior un intervalo grueso de calizas cretácicas. Este intervalo se encuentra cubierto por otro intervalo lutítico (Formaciones Colón- Mito Juan), no menos grueso que culmina en el Cretácico Tardío para dar paso a las intercalaciones de areniscas, calizas y lutitas del Paleoceno Superior y el Eoceno. Finaliza la depositación con unos sedimentos continentales Post-Eocénicos.

EL Paleoceno representa un ciclo regresivo de plataforma nerítica, caracterizado por la presencia de la Formación Guasare, seguidas por las areniscas y calizas de la parte superior de esta formación y finalmente la secuencia de areniscas, lutitas y lignitos de la Formación Marcelina. En el área del Campo Mara, situada en la plataforma occidental de la Cuenca de Maracaibo, ocurrió la transgresión del Eoceno sobre la superficie erosionada del Paleoceno. Durante la misma se depositaron las lutitas y areniscas de la Formación Misoa.

Luego de otro evento erosional y depositación de los sedimentos continentales del Grupo El Fausto, de edad Oligoceno-Mioceno, el Mioceno-Plioceno, trajo consigo los movimientos orogénicos responsables del levantamiento de la Sierra de Perijá mientras que en el área del Campo Mara se depositaron los sedimentos de agua dulce a salobre de la Formación La Villa.

4.1.2 Basamento

El basamento está constituido por rocas ígneas fèlsicas, metamórficas y volcano-sedimentarias. El complejo metamórfico presumiblemente Paleozoico consiste de esquistos cloríticos y meta-granitos a meta dioritas y ocupa principalmente la parte suroccidental del campo. Un batolito cuarzodiorítico-granodiorítico a granítico posiblemente Herciniano parece haber intrusionado las rocas metamórficas y ocupa principalmente la parte norcentral del campo, así como los flancos exteriores. El complejo volcano-sedimentario de la Formación La Quinta es de edad Jurásico e incluye porfiritas aglomerados, basaltos, traqui-andesitas y conglomerados, que aparentemente rellenaron una depresión del complejo ígneo-metamórfico anterior ocupando actualmente la cresta de la estructura de Mara en la zona de falla principal. (Bueno y Hartung, 1984)

4.1.3 Cretácico

Se puede dividir la sucesión del Cretácico en un intervalo inferior dominado por carbonatos (el Grupo Cogollo y la Formación La Luna) y una secuencia superior dominada por clásticos de grano fino (formaciones Colón y Mito Juan). Cada uno de estos dos intervalos tiene un espesor promedio de aproximadamente 1850 pies. El desarrollo de yacimiento se limita al Grupo Cogollo el cual consiste en los 1300 pies inferiores del Cretácico. La porosidad y permeabilidad de matriz de esta unidad son muy bajas. La producción se asocia con el fracturamiento. Las lutitas de Colón forman un sello regional.

La caliza es la litología más común. También ocurre dolomita, un ejemplo del cual es el Miembro Piche de la Formación Apòn (a aproximadamente 8600 pies) Hay dos unidades siliciclásticas. La Formación Río Negro es una arena basal y alcanza un espesor de aproximadamente 50 pies. La arena es gradual con los carbonatos del Miembro Tibu que yace encima de la misma. El Miembro Machiques con un espesor

de aproximadamente 100 pies, consiste en lutitas y cantidades menores de calizas y arenisca. La arena de 25 pies en la base de la Formación Lisure parece ser discontinua lateralmente.

El registro de GR no es un indicador de lutita en el Cretácico. Algunas de las curvas de GR en las secciones son registros de hoyo abierto, pero otros son registros de hoyo entubado o GR de núcleos. En segundo lugar, el GR responde principalmente al contenido de uranio. Los valores elevados de GR en la Formación La Luna están relacionados con el alto contenido orgánico de estas calizas lutíticas. Algunos pozos también muestran altos valores de GR en la Formación Lisure los cuales también podrían ser relacionados con su contenido orgánico. La relación de GR al contenido orgánico complica cualquier intento de seleccionar superficies de inundación y construir un modelo estratigráfico de secuencias para el Grupo Cogollo.

4.1.3.1 Formación Río Negro

Discordantemente sobre el basamento, el Cretácico comienza con una arenisca basal, tipo cuarzosa y conglomerática con un espesor máximo de 50 pies en Campo Mara con guijas de cuarzo bien redondeadas en una matriz arenosa que esta en contacto discordante con las rocas pre-cretácicas, y trasicional con la Formación Apòn suprayacente. Por su posición estratigráfica puede afirmarse que pertenece al Cretácico Inferior (pre-Aptiense) y a causa de su correlación lateral con sedimentos marinos fosilíferos infrayacentes a las calizas del Grupo Cogollo que afloran en la Goajira, la Formación Río Negro abarca el Barremiense y puede extenderse a niveles más antiguos.

4.1.3.2 Grupo Cogollo

El Grupo Cogollo, con un espesor de 1500 pies, suprayace concordantemente a la unidad anterior, consistiendo, principalmente, en sedimentos carbonáticos (calizas)

sedimentados en un ambiente de plataforma e interrumpidos, cerca de su base, por un intervalo lutítico denominado Miembro Guaimáros de la Formación Apón.

4.1.3.2.1 Formación Apón

La Formación Apón, de edad Aptiense, está compuesta, principalmente, de calizas grises y azulosas, duras, densas, en capas gruesas, generalmente fosilíferas, con intervalos menores de lutitas, que varían de calcáreas a arenosas. Un intervalo de lutitas calcáreas negras y calizas laminares sirvió para subdividir la Formación Apón en tres miembros, ellos son: Tibú, Machiques y Piché en orden ascendente, concordantes entre sí, (Gonzalez de Juana *et al*, 1980, p. 228).

El Miembro Tibú se compone de calizas y lutitas arenosas, indicativas de la transgresión a la Formación Río Negro, seguidas por un grueso intervalo biostrómico de calizas macizas cristalinas, criptocristalinas, nodulares, coquinoideas y margosas, que representa la primera manifestación de calizas marinas que se encuentran, transicionalmente, por encima de las areniscas de la Formación Río Negro. Localmente se presentan algunas capas delgadas de dolomita y en el subsuelo del Campo Mara, se pueden observar zonas de reemplazo de dolomita en calizas, principalmente, hacia el tope de este miembro.

El Miembro Machiques intermedio, presenta calizas laminares negras piríticas, intercaladas con margas y lutitas negras, con concreciones discoidales, muy fosilíferas. Las calizas laminares son muy bituminosas y las superficies frescas emanan fuerte olor a petróleo (González de Juana *et al*, 1980, p. 229).

El Miembro Piché, incluye una mayor proporción de calizas coquinoideas masivas que Tibú, calizas nodulares margosas y algunas margas.

En el Campo Mara, la Formación Apón, presenta un espesor promedio de 950 pies y se ha tenido producción de los tres miembros, aunque, es de destacar, que es el Miembro Piché, el que posee las mejores características petrofísicas para la producción de hidrocarburos, incluyendo el mayor número de fracturas y microfracturas.

4.1.3.2.2 Formación Lisure

La Formación Lisure, de edad Aptiense-Albiense se caracteriza por la presencia de areniscas calcáreas glauconíticas, grises o verdosas, de grano medio a fino, areniscas micáceas laminares, calizas arenosas glauconíticas, calizas grises y calizas coquinoides y algunas lutitas. La presencia de areniscas y de glauconita es el principal elemento que las diferencia del resto de las formaciones del Grupo Cogollo. En los Campos de La Paz y Mara, está compuesta por calizas arenosas y areniscas calcáreas en intervalos de poco espesor, calizas oolíticas y pseudo oolíticas de apariencia detrítica, con numerosas intercalaciones de margas y lutitas. Hacia el tope presenta calizas oolíticas finamente cristalinas, intercaladas con margas y lutitas (González de Juana *et al*, 1980, p. 237-238).

El espesor promedio en el Campo Mara es de 400 pies y, de las tres formaciones del Grupo Cogollo, es ésta la que posee las características más pobres, desde el punto de vista de producción de petróleo.

4.1.3.2.3 Formación Maraca

La Formación Maraca, de edad Albiense, comprende un intervalo compuesto, casi exclusivamente, por calizas arenosas en capas gruesas, alternando con calizas coquinoides y nodulares que, generalmente, tienen poca matriz. El carácter fosilífero y las conchas que se observan en las calizas se deben, en gran parte, a la abundancia

de *Ostrea* sp. y *Exogyra* sp., intercaladas con estas calizas masivas se encuentran capas delgadas de margas y lutitas de color gris claro a ocre claro; en la parte inferior, algunas areniscas glauconíticas y calcáreas, marcan la transición con la Formación Lisure infrayacente.

En algunos lugares, las calizas coquinoideas están impregnadas de hidrocarburos, impartiendo a la matriz un color gris oscuro y destacando, muy claramente, los bioclastos blancos, esto se evidencia con las muestras de ripios de los pozos perforados en el área del Campo Mara. El contacto superior con la Formación La Luna es un cambio litológico contrastante que coloca a las calizas con ostreas, de ambiente nerítico muy cercano a la costa, en contacto con calizas negras y densas con faunas de amonites y con lutitas negras marinas de ambientes euxínicos (Gonzalez de Juana *et al*, 1980, p. 242).

En el Campo Mara Este la Formación Maraca tiene un espesor promedio de 80 pies.

4.1.3.3 Formación La Luna

La Formación La Luna, de edad Cretácico Tardío, (Cenomaniense–Santoniense), es la unidad litoestratigráfica más característica del Cretácico del Occidente de Venezuela. Durante la sedimentación de esta unidad, tuvo lugar la máxima cobertura marina en Venezuela y el desarrollo de ambientes euxínicos característicos.

En casi toda la Cuenca de Maracaibo se producen condiciones euxínicas del fondo marino y se acumulan calizas y lutitas de color negro que caracterizan a la Formación La Luna. Esta consiste, principalmente, de calizas laminadas densas de color gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas, a veces con la presencia de arcillas calcáreas, de color negro, presenta concreciones elipsoidales y discoidales de

caliza negra dura y es bastante común la presencia de fanita negra, con restos de peces en la parte superior de la formación.

Las calizas de esta formación despiden fuerte olor a petróleo y es frecuente encontrar gotas de petróleo en los fósiles incorporados en las concreciones, especialmente hacia la base de la unidad (Gonzalez de Juana *et al*, 1980, p. 249-250).

La Formación La Luna representa la roca madre más importante de la cuenca de Maracaibo. En el Campo Mara Este, esta formación tiene un espesor promedio de 400 pies.

4.1.3.4 Formación Colón

La Formación Colon se caracteriza por lutitas microfosilíferas gris oscuro a negras, macizas, piriticas y ocasionalmente micaceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada las lutitas son mas arenosas hacia la base y hacia la parte superior, donde la unidad cambia transicionalmente a la Formación Mito Juan, estas formaciones reciben la denominación (invalidada) de “Lutitas de La Paz”, las cuales actúan como sello regional de gran importancia para los yacimientos infrayacentes su espesor en el Campo Mara alcanza de 1700 a 2000 pies . El Miembro Socuy, de edad Campaniense, es la unidad basal de la Formación Colón, representa las últimas calizas cretácicas depositadas en el Campo Mara Este. Socuy contiene calizas margosas, de colores claros con intercalaciones muy escasas de lutitas, las calizas grises, duras y densas que en esta unidad, muestran matrices de grano fino y calciliticas contentivas de foraminíferos tanto pelágicos como bentónicos. Se distinguen de las calizas de la Formación La Luna por la presencia de foraminíferos bentónicos, el color más claro de la matriz y a la ausencia de laminación (Gonzalez de Juana *et al*, 1980, p. 267). En el Campo Mara Este, el Miembro Socuy, posee un espesor promedio de 60 pies.

4.1.3.5 Formación Mito Juan

La litología de la Formación Mito Juan se caracteriza por lutitas grises, gris-verdosas y negras, localmente arenosas, en los cuales el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas. Las arenas se clasifican según Van Andel (1958, p.750) en el grupo de las grauvacas y subgrauvacas.

El espesor promedio de la Formación Mito Juan en Mara es de unos 200 m. La formación se extiende superficialmente tanto como la Formación Colón ya que en muchos lugares se diferencia de ella muy difícilmente y en otras partes no se ha intentado diferenciarlas. El conjunto de microfauna en Mito Juan indica una edad Maastrichtiense Tardío.

4.1.3.6 Formación Guasare

La Formación Guasare es una unidad mixta de carbonatos y clásticos altamente intercalados que varía desde 750 pies hasta 950 pies de espesor. La proporción de caliza es algo más alta y la arenisca se disminuye hacia el este, lo que es consistente con el patrón de deposición regional. Los datos sísmicos y de pozos indican que los contactos inferior y superior son concordantes, o posiblemente un poco discordante. No hay evidencia de truncamiento a lo largo de estos horizontes en Mara Este.

La parte inferior de la Formación Guasare consiste en su mayor parte en lutita y caliza de capas finas. Las arenisca son comunes en el medio de la formación donde está intercalada con lutita y cantidades menores de caliza. La caliza, en parte en capas gruesas, y lutitas predominan cerca del tope de la Formación Guasare.

Probablemente las arenas representan lóbulos deltáicos que progradaron a través de la plataforma, posiblemente como respuesta a la caída del nivel del mar. Aunque es

posible correlacionar los paquetes de arena, la mayoría de las capas individuales no pueden ser correlacionadas. La mayor parte de la arena en el pozo DM-15, ocurre en un intervalo de 200 pies como una serie de unidades progradantes apiladas. El espesor de las arenas individuales pocas veces excede de 20 pies. Por otra parte, las unidades de caliza indican episodios transgresivos y deben ser marcadores extendidos que pueden ser correlacionadas.

Probablemente los carbonatos y no las arenas constituyen la litología de yacimiento principal en el intervalo de Guasare.

4.1.3.7 Formación Marcelina

Sobre el campo hay una variación sustancial en el espesor desde 250 pies hasta más de 500 pies. La Formación Marcelina se adelgaza hasta aproximadamente 200 pies sobre la cresta de la estructura. La mayor parte de la variación está relacionada con el truncamiento por la discordancia en el tope de la Formación Marcelina. Posiblemente hay algún grado de solapamiento sobre la Formación Guasare subyacente. Sin embargo, la gradación entre estas dos formaciones lo hace difícil resolver la posición y naturaleza del contacto.

La mayoría de los pozos contienen alrededor del 15-35% de arenisca. Las arenas y lutitas de la Formación Marcelina están altamente intercaladas y variables lateralmente. Ocurren capas delgadas de carbón, pero son más comunes en la parte inferior de la formación. Las tres unidades en el límite suroriental del campo podrían representar una sucesión de facies distales: (1) un miembro inferior lutítico con capas delgadas intercaladas de arenisca y carbón; (2) un miembro intermedio arenoso (3) un miembro superior lutítico con arenas delgadas. La mayor parte de las arenas delgadas se adelgazan discordante y lateralmente.

Capas delgadas de carbón ocurren en la unidad lutítica inferior, lo que indica que tiene afinidades deltaicas a marginales. Debido a limitaciones de la calidad de los registros, es difícil identificar con precisión cada capa de carbón. Una arena de canal que varía de espesor de 30 a 100 pies ocurre localmente en la unidad intermedio de arenisca. Probablemente la unidad superior de lutita refleja condiciones prodeltaicas a marinas abiertas por parte del campo.

4.1.3.8 Formación Misoa

El espesor de la Formación Misoa muestra una mayor variación de cualquier otra unidad. Se incrementa desde 600 pies por la cresta de Mara Esta, donde aflora localmente, hasta más de 6000 pies a lo largo del flanco oriental. Esta variabilidad es una función del truncamiento por la discordancia Post-Eoceno y del adelgazamiento estratigráfico que era relacionado con el crecimiento estructural durante la depositación. La Formación Misoa varía de otras partes de la cuenca en que la lutita es mucho más abundante que la arenisca. El área de Mara Este podría haber sido ubicada en una posición distal que se encontraba más cerca del margen de la plataforma. La distribución de la mayor parte de la arenisca es limitada estratigráficamente.

La Formación Misoa puede ser dividida en líneas generales en tres unidades. Aparentemente la unidad inferior yace discordantemente sobre la Formación Marcelina.

La unidad inferior se engruesa hacia arriba (es decir, progradual), pero consiste predominantemente de lutita marina a prodeltaica. El espesor varía entre 900 y 1300 pies. La proporción de arenisca aumenta en los pozos en el extremo sur (y buzamiento abajo). Se puede correlacionar algunas de las arenas, pero otras son discontinuas. La lutita basal no se extiende por la cresta de la estructura. Las arenas

que ocurren en la cresta aparecen ser equivalentes lateralmente a parte de la unidad basal de lutita.

La unidad intermedia de carácter arenoso tiene un espesor de 900 – 1100 pies y un perfil que degrada hacia arriba. El mejor desarrollo de arena es en la mitad inferior del intervalo. Las arenas en la parte superior del intervalo son más delgadas, pero arenas apiladas de 50 a 100 pies muchas veces pueden ser correlacionadas.

Casi toda la unidad superior consiste en lutita, con algunas areniscas delgadas intercaladas. El espesor variable de este intervalo (desde 1200 hasta 3300 pies) es relacionado en su mayor parte al truncamiento a lo largo de la discordancia que yace encima. Esta unidad se asemeja las lutitas marinas pelágicas de la Formación Paují en la parte oriental de la Cuenca de Maracaibo. Un estudio palinológico (Maraven, 1995) indica que el tope de la Formación Misoa es de edad Eoceno Temprano en Mara Este.

La cantidad de arena parece mayor en la parte central occidental del campo. Debido al truncamiento profundo los pozos a lo largo de la cresta de la estructura deben ser tratados con cautela. No obstante la variación lateral (de aproximadamente el 40% a menos del 10%) refleja facies rápidamente cambiantes que podrían estar relacionadas con el control estructural sobre la depositación a lo largo de la zona de fallas principal.

La Formación Misoa basal podría sellar el intervalo de yacimiento Marcelina-Guasare, aun cuando algunas areniscas ocurren ocasionalmente en la base de la Formación Misoa a lo largo de la cresta de la estructura. Una lutita ocurre en la base de la Formación Misoa más al norte y este, pero no puede ser reconocida en la cresta de Mara Este. La distribución de datos de producción e indicios de hidrocarburos en estas unidades soporta esta hipótesis. La producción del Paleoceno ocurre por toda el área crestal, incluyendo el “pop-up”. Sin embargo, las arenas del Eoceno

aparentemente no son productivas en la cresta pero están atrapadas más buzamiento abajo hacia el sur y suroeste, lo que podría dar a entender que estos yacimientos no estén en contacto el uno con el otro y que un elemento de entrampamiento estratigráfico podría estar involucrado en la producción de la Formación Misoa. No es posible identificar un sello claro entre el Paleoceno y Formación Misoa o evidencia de contactos agua – petróleo múltiples dentro de la Formación Misoa con los datos de registro.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

4.2.1 Generalidades

Los mapas estructurales y cortes sísmicos en tiempo claramente muestran que la geometría de Mara Este es un bloque de horst modificado que fue deformado por compresión y transpresión posterior. El corte en tiempo 1520 ms (Figura 36) muestra las fallas principales las cuales son codificadas por color para coincidir con las secciones sísmicas. Fallas normales escalonadas de rumbo N-NE (de color morado y verde) forman el límite occidental del horst. La falla larga de color marrón delimita el límite oriental del horst; es hundido hacia el este. Una falla normal corta (de color rosado) en el extremo norte de la estructura tiene el sentido opuesto de desplazamiento vertical. Una falla inversa (de color azul claro) está ubicada en el este y paralela al borde del horst. La falla de corrimiento que forma el límite oeste del pliegue es identificada por el color azul.

Los mapas estructurales ilustran la configuración estructural (Anexos1 y 2) La estructura tiene una anchura de 5-6 km y 20 km de largo, y se hace estrecha en ambas direcciones fuera del levantamiento central. Mara Este está conectado por estructuras relacionadas hacia el norte (El Moján) y hacia el sur (La Paz). Los contornos estrechamente espaciados en los flancos noroeste y sureste de la estructura

corresponden a las fallas normales principales (Fig. 37). La falla en el extremo oeste (una falla de corrimiento) define el límite del flanco inclinado del pliegue. Por lo general esta falla tiene un desplazamiento de menos de 300 pies. La forma puntiaguda del pliegue y de la falla de corrimiento puntera es típica de rasgos compresionales.

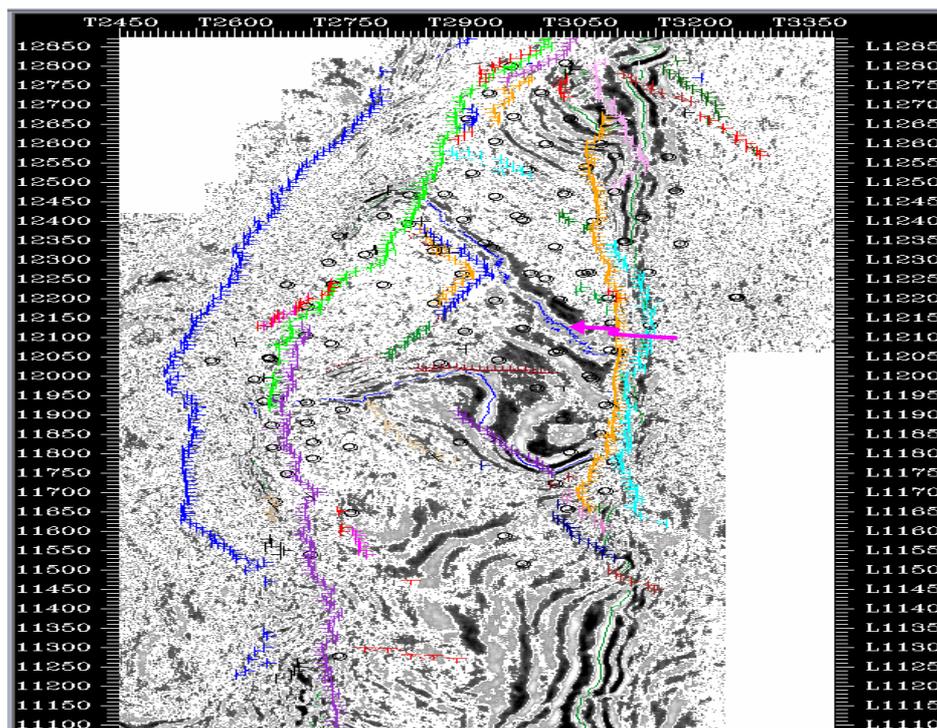


Figura 36 Corte en tiempo de Mara Este (TS-1520). Cortes en tiempo como TS-1520 resultaron útiles para visualizar las relaciones entre fallas, los mismos denotan con claridad las diferencias laterales con el marcado contraste en los valores de respuesta a la longitud de onda inducida. .

El horst es colindado en el oeste parcialmente por lo que aparenta ser dos fallas escalonadas y no por una sola falla. El desplazamiento máximo es de aproximadamente 1500 pies. Un pequeño “pop-up” (estructura de Tetones) se encuentra entre estas dos fallas en la cresta de la estructura. El “pop-up” forma parte de una culminación mayor la cual está doblada al lado de las fallas limitantes de noroeste. Existe un bulto convexo notable de las fallas principales. Una falla de rumbo ENE corta de manera oblicua a través del flanco occidental del pliegue, formando un alto con forma triangular adyacente a la culminación principal. Un

segundo “pop-up” más pequeño se encuentra a lo largo de la falla limitante del NW cerca del extremo norte de la estructura. Por lo general el horst se inclina hacia el

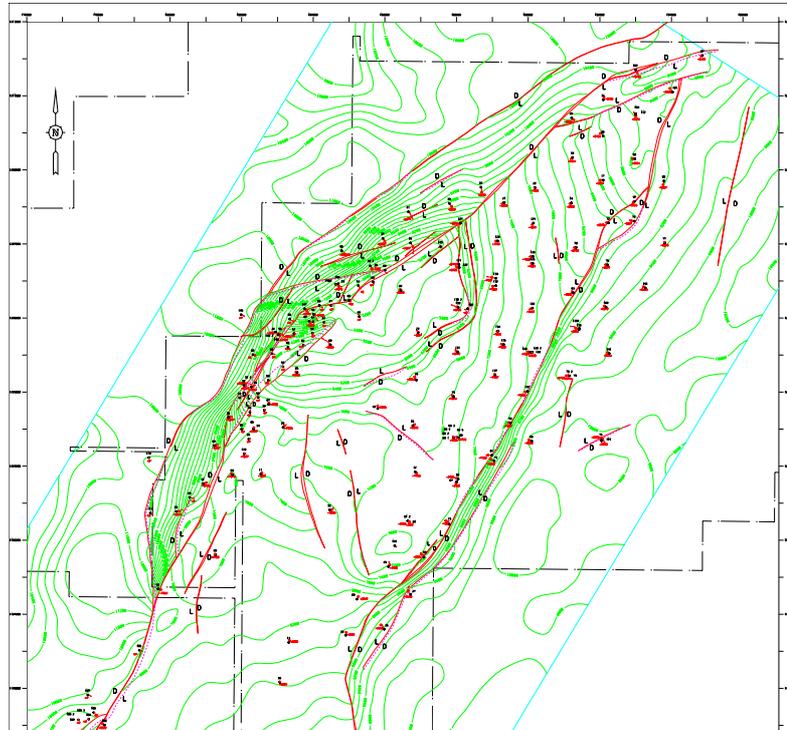


Figura 37 Mapa estructural tope de Socuy mostrando geometría y disposición de los contornos. A través de estos parámetros se puede apreciar la geometría y orientación de la estructura del campo.

sureste, pero el buzamiento gira hacia el noreste en el extremo norte de la estructura. La falla normal con desplazamientos hasta 1000 pies forma el límite sureste de la estructura, pero no persisten por todo lo largo de la estructura. Una pequeña culminación secundaria (estructura KM-24) se encuentra en el lado este del horst.

La orientación NNE de la estructura es paralela a la de estructuras similares en otras partes de la cuenca, tales como las asociadas con las zonas de fallas de Icotea y Pueblo Viejo. Lugo (1991) concluyó que estas estructuras se formaron como parte del sistema de grietas (“rift”) del Jurásico y fueron sujetas a transpresión y compresión durante el Eoceno tardío a Neogeno. Las estructuras “pop-up” (parecidas a

estructuras en flor) a lo largo del borde oeste del horst de Mara Este representan evidencia de compresión o transpresión del Post-Eoceno.

Pequeñas fallas lítricas con rumbo NW-SE cortan de manera oblicua a través de la estructura al nivel del tope del Cretácico. Son desplazadas hacia abajo hacia el noreste. Estas fallas tienen desplazamientos generalmente menores a 300 pies y se desvanecen en las lutitas del Colón. Una de estas fallas en la parte central sur del área del mapa tiene un desplazamiento de aproximadamente 500 pies. Los mapas de buzamiento y azimut, los cuales están descritos anteriormente en el capítulo II fueron utilizados para identificar estas fallas.

Los rasgos estructurales principales en su mayor parte están sin cambios en los mapas de profundidad del Socuy y basamento. La diferencia principal entre el mapa de GM-0 y los mapas de estructuras más profundas es la presencia de fallas normales de rumbo NE-SE. La mayoría de estas fallas no penetran hasta el horizonte más profundo. Generalmente se desvanecen en las lutitas de la Formación Colón superior. Otra diferencia es que el extremo este del alto crestal está delimitado por fallas cortantes que afectan la sección de carbonatos inferior del Cretácico. Una imagen 3-D del horizonte Socuy (Figura 38) muestra claramente la naturaleza ortogonal de esta terraza crestal y que el mayor desplazamiento a lo largo del lado este del horst está asociado con el “bloque central”. Esta falla se disminuye de tamaño hacia el norte, donde se adelgaza discordantemente y se pierde la forma parecida a horst de la estructura. Es reemplazada por una falla normal movida hacia abajo hacia el noroeste.

4.2.2 Fallamiento

4.2.2.1 Generalidades

Como se mencionó anteriormente la interpretación de fallas en Mara Este ha sido problemática desde el inicio del desarrollo del campo. Los factores que la hacen compleja incluyen la complejidad estructural global del campo, la evolución

estructural compleja conjuntamente con la cantidad de datos disponibles y la calidad de los datos para el campo. La adición de la sísmica 3-D conjuntamente con los procesos de elaboración de secciones balanceadas (Anexos 3-8) y modelado 3-D han

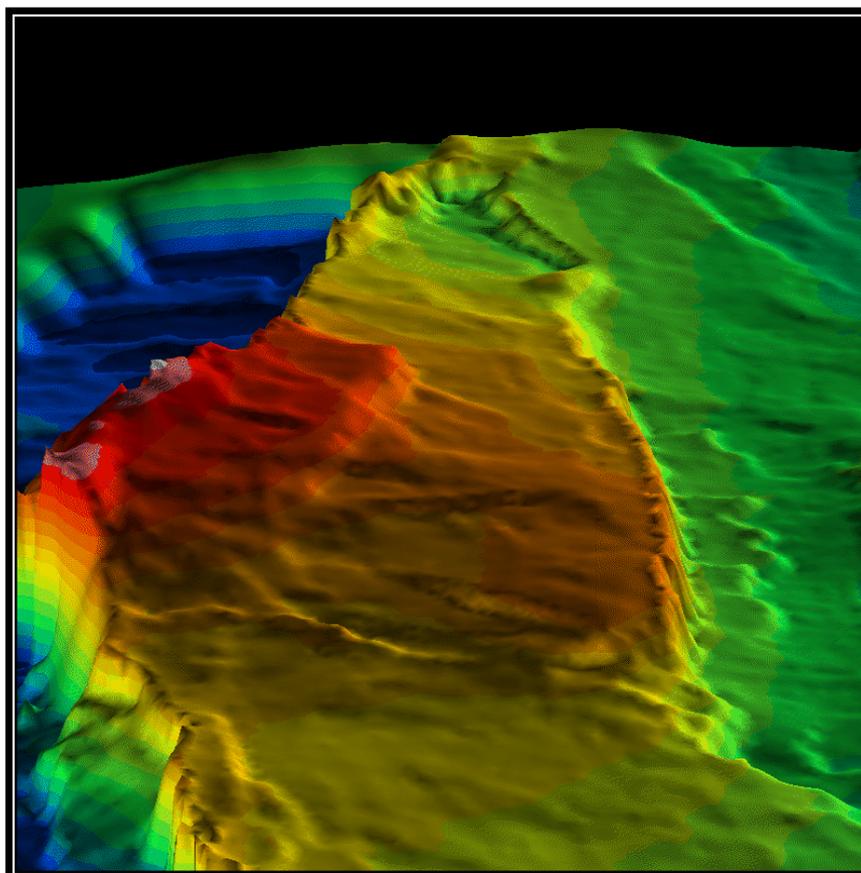


FIGURA 38 Ejemplo de vista en 3D de superficie en Tiempo - Tope de Socuy
Nótese la presencia de los rasgos estructurales resaltantes.

mejorado mucho el entendimiento de la geometría de fallas y evolución estructural. Sin embargo, la caracterización e identificación de fallas aun está sujeta a mucha interpretación debido a la superposición tectónica compleja causada por múltiples episodios tectónicos y la calidad de los datos sísmicos en las áreas de fallas complejas. Se reconoce regionalmente que el Pre-Cretácico ha experimentado una historia tectónica compleja.

Por lo general hay tres conjuntos de fallas identificables o agrupaciones de fallas identificadas en Mara Este. Estas incluyen fallas normales, fallas inversas y fallas “lístricas”. Cada uno de estos conjuntos de fallas es el resultado de un evento tectónico distinto. Sin embargo, la tectónica posterior ha dejado su marca sobre los movimientos de fallas iniciales y contribuido a la complejidad de la interpretación. Debido a la calidad de los datos sísmicos 3-D en las áreas altamente falladas, es necesario confiar en los datos de pozos para completar la interpretación. De hecho, la interpretación de la sísmica 3-D sin estos datos de pozos puede resultar muy engañosa.

A lo largo del alineamiento de La Paz-Mara-El Moján (Anexos 1 y 2), una zona de Falla Principal denominada de esta manera por ser paralela al eje anticlinal, corta la cresta de la estructura dividiendo el Campo Mara en dos flancos marcadamente asimétricos, siendo el flanco noroccidental más deprimido que el suroriental.

Dos sistemas de fallas secundarias denominadas de esta manera por ser producto del ajuste o acomodo, cortan los bloques delimitados por las fallas longitudinales principales. Estas fallas originadas en respuesta al movimiento transcurrente de las fallas longitudinales, confluyen con estas en un ángulo de alrededor de 45° y presentan dos sistemas en cuadrantes opuestos situados en ángulo recto uno respecto al otro.

En los cuadrantes de máxima compresión están situadas fallas inversas de rumbo generalmente E-NE, mientras que en los cuadrantes de tensión están ubicadas por lo general fallas normales de rumbo mayormente N-NO. Por consiguiente en cada bloque elongado principal existen varios bloques secundarios distribuidos en forma de pilares, fosas o escalones.

4.2.2.2 Fallas Normales

Los desplazamientos verticales a lo largo de las fallas normales varían desde menos de 100 pies hasta miles de pies a lo largo del margen del oeste. Generalmente estas fallas tiene un rumbo de NE-SW y están paralelas a subparalelas al plegamiento y aparentemente no cortan las rocas del Post-Eoceno. Ocurren en las partes este y oeste del campo pero generalmente son de mayor magnitud en el lado del oeste. Una etapa compresiva tardía ha reactivado muchas de estas fallas normales como fallas invertidas. Es este “overprinting” que complica el cálculo del desplazamiento vertical original a lo largo de las fallas normales reactivadas y las fallas invertidas interpretadas. Además del deslizamiento invertido en el sistema de fallas normales, la rotación de fallas y deslizamiento oblicuo o lateral también podría haber ocurrido. También se debe notar que no se ha identificado evidencia clara de movimientos de fallas oblicuos o laterales en el campo Mara Este, pero considerando el entorno regional es probable que hayan ocurrido.

La inversión estructural significativa ha ocurrido a lo largo de la falla limitante del oeste como se muestra en un conjunto de líneas sísmicas (Apéndice 3) ubicadas en el sur del campo Mara Este. La discordancia Post-Eoceno y los horizontes GM-0, Socuy y Machiques todos son movidos hacia abajo hacia el oeste a través de una falla normal grande en la Línea 11390 La Línea 11100 la cual está ubicada aproximadamente 4,5 kms más hacia el sur, muestra desplazamiento normal de los horizontes GM-0, Socuy y Machiques. Sin embargo, no hay excentricidad (“offset”) de la discordancia Post-Eoceno. Línea 11140, la cual está ubicada entre las otras dos líneas, muestra una relación distinta. Hay una excentricidad inversa pronunciada de la discordancia Post-Eoceno, al contrario a la excentricidad normal de los horizontes más profundos. Esto muestra que han habido dos periodos de movimiento a lo largo de la falla. El primer evento y él más importante fue extensional, que hizo caer el bloque oeste hacia abajo en relación con el bloque este. El segundo evento fue

compresional. Levantó el bloque oeste lo suficiente para que la discordancia Post-Eoceno está localmente más alta en el bloque oeste que en el bloque este.

4.2.2.3 Fallas Inversas

La mayoría de las fallas inversas resultó de la compresión de una etapa tardía. Estas fallas se originaron de fallas normales reactivadas y/o como fallas inversas paralelas a subparalelas. De nuevo las separaciones verticales son variables y su cuantificación resulta difícil con separaciones verticales desde cientos hasta más de un mil pies. Igual como las fallas normales, estas fallas inversas también ocurren en las partes este y oeste del campo. No hay evidencia clara que estas fallas inversas cortan la discordancia Post-Eoceno en Mara Este.

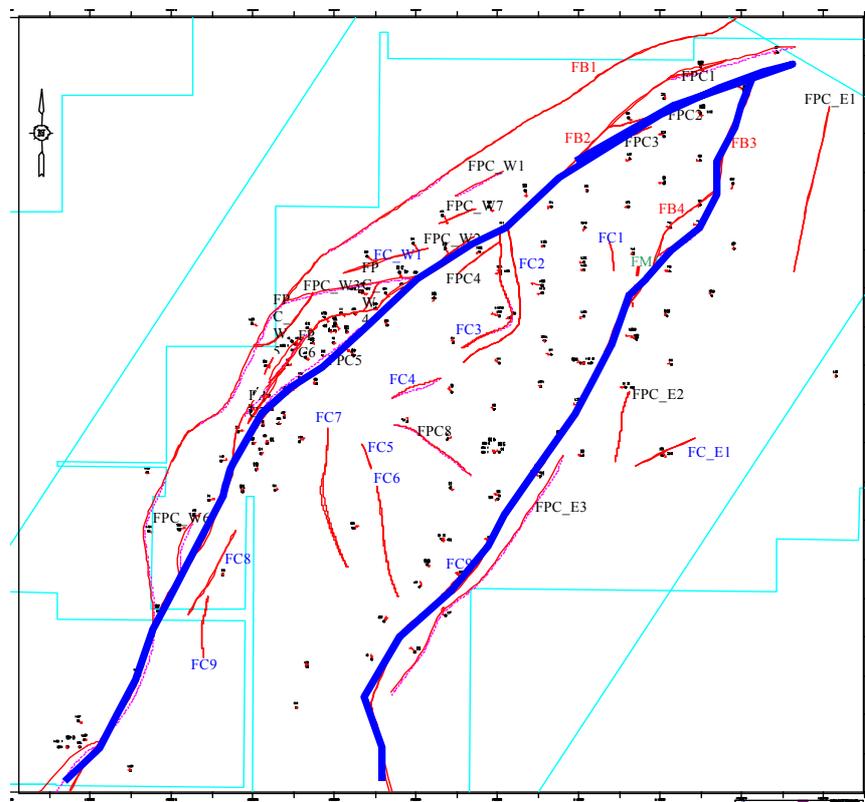
Son estos conjuntos de fallas normales e inversas con rumbo NE-SW los que tienen el mayor efecto en la acumulación y producción de hidrocarburos.

Conjuntamente con la zona de Falla Principal, dos fallas longitudinales paralelas a subparalelas al rumbo de la estructura cortan a ésta separando bloques de forma elongada, dichas fallas por ser de amplia longitud y por representar límites que dividen a la estructura se denominan fallas longitudinales principales (Fig 39) .

Las fallas longitudinales principales son generalmente inversas de ángulo alto y de salto variable, pero la componente horizontal adicional, resultado de la tectónica diferencial horizontal y compresional que predominó en esa parte de la Cuenca de Maracaibo a partir del Eoceno, varía su rumbo de NNE a NE debido a la sinuosidad de su trazo.

La falla longitudinal oriental presenta saltos verticales que varían de unos 1.500 pies en la parte central hasta unos pocos pies al norte. La falla longitudinal que atraviesa la parte central del campo Mara confluye tanto con la zona de Falla Principal en el

extremo suroeste, como con la falla longitudinal oriental en el extremo noreste del Campo. Su salto vertical varía de unos 1.000 pies en la parte central hasta unos pocos pies en los extremos noreste y sureste. Tanto la zona de falla principal como las fallas longitudinales han desarrollado localmente fallas de ajuste o acomodo que dieron lugar a pequeños bloques de arrastre muy elongados y en forma de cuñas adosadas a la falla longitudinal. Los bloques elongados que limitan las fallas longitudinales son de este a oeste.



La nomenclatura usada es la siguiente:

- FB:** Falla Limite
- FC:** Falla Cretácico (y Basamento)
- FPC:** Falla Paleoceno / cretácico
- FP:** Falla Paleoceno
- FM:** Falla Cretácico inferior (y Basamento)
- FE:** Falla Eoceno (solo Eoceno)
- E:** Falla en la parte este del campo
- W:** Falla en la parte oeste del campo
- Falla principal

FIGURA 39 Mapa estructural tope de Socuy mostrando fallas presentes y nomenclatura utilizada

4.2.2.4 Fallas Lítricas

Las fallas normales tipo lítrico resultaron de un periodo de extensión del Eoceno Temprano a Medio. Estas fallas tiene un rumbo de noroeste a sureste, son hundidas hacia el noreste y tienen separaciones verticales en el rango de tres cifras bajas de pies. En su mayoría, los cortes se limitan al Paleoceno y lutitas de Colón, pero también podrían haber cortes en las rocas más profundas del Eoceno. Las superficies de dislocación tienden a tener un ángulo mayor en el Paleoceno y aplanan (difícil de identificar) al deslizarse por las lutitas de Colón. Aparentemente estas fallas no tienen una gran influencia en la acumulación o producción de hidrocarburos en el campo Mara Este pero podrían ser comparables a las fallas de rumbo NW-SE en la parte este de la Cuenca de Maracaibo que sí controlan el entrapamiento de hidrocarburos.

4.2.3 Plegamiento

La estructura de Mara Este es un “horst” plegado asimétrico de vergencia al oeste y altamente fallada. Es colindada por un bloque con un buzamiento altamente inclinado hacia el oeste dominante y un bloque menos dominante con un buzamiento menos inclinado hacia el este. Tasas de buzamiento en el miembro del oeste se acercan a 50° y localmente pueden ser mucho más altas. Las tasas de buzamiento en el miembro del este son solamente un poco menos, acercando a 40° pero también con buzamientos mayores localizados. Las tasas de buzamiento en la parte central del campo varían entre 5° y 10° mientras que los lados del extremo sur y oeste del área cartografiada tienen buzamientos menores a 5°. La geometría actual hereda gran parte de su forma de un sistema de horst y graben preexistente que se formó durante el Cretácico y persistió hasta el Eoceno. La mayor parte de la geometría de pliegues es el resultado de compresión tardía causada por un sistema de corrimiento profundo de vergencia oeste. Este sistema levantó todo el complejo de horst y graben y desarrolló el bloque oeste altamente inclinado. El deslizamiento por el corrimiento del extremo oeste se disminuye buzamiento arriba debido a que el desplazamiento es consumido por el

pliegue en desarrollo. Este tipo de pliegue, denominado pliegue de propagación de falla es común en estructuras compresionales.

El bloque “Flanco Oeste” situado al oeste de la zona de falla principal consiste en un monoclinal de buzamiento alto, que se dirige hacia el noreste en su parte septentrional para cambiar gradualmente hasta orientarse hacia el oeste en su parte meridional.

El bloque “Centro Occidental” situado al este de la zona de falla principal (Fig 38-39), presenta en su parte central la cima del anticlinal de Mara con sus flancos este y suroeste. Hacia el noreste pasa a convertirse en el flanco occidental de un sinclinal, mientras que hacia el suroeste evoluciona para convertirse en el flanco oriental de otro sinclinal.

El “Bloque Centro Oriental” situado entre las fallas longitudinales central y oriental (Fig 38-39), muestra también un anticlinal en su parte central conocido como “domo de la estructura del Km 24”. Considerando la naturaleza transcurrente de las fallas longitudinales es probable que este anticlinal halla estado alineado con aquel del bloque anterior, habiéndose desplazado ese último de una ubicación al noreste del campo hasta su posición actual en virtud de la transurrencia sinistral Incluso dentro del “Bloque Centro Oriental” la parte norte del anticlinal parece haber sido forzada a desplazarse hacia el oeste a partir de una posición original presumiblemente orientada en sentido NE-SO, tal vez a lo largo de las fallas presumiblemente inversas de orientación E-NE.

El bloque “Flanco Este” situado al este de la falla longitudinal oriental (Fig 38-39), presenta una estructura plegada con un anticlinal en su parte central (domo de la estructura DM-75) que evoluciona a formas sinclinales tanto hacia el Norte como al Sur.

Las complejidades estructurales observadas en el área de “pop-up” son el resultado de las fallas normales preexistentes convertidas a fallas inversas. Otros rasgos de

segundo orden incluyen el fallamiento y plegamiento invertido a lo largo del lado este del campo. Estos rasgos fueron causados por el corrimiento invertido que están asociados también con el episodio compresional. Estos rasgos se mueren o se fusionan con la profundidad en corrimientos profundos.

4.2.4 Modelo Estructural Integrado

El modelo estructural de Mara Este se basa en la integración de todos los datos geológicos, geofísicos y petrofísicos disponibles y las interpretaciones resultantes que se realizaron durante el estudio. Se consultaron referencias regionales adicionales para ayudar a llenar los espacios en los datos y con datos faltantes o interpretaciones locales inconcluyentes. El modelo fue fuertemente influenciado por las secciones balanceadas e integración tridimensional de los datos.

El modelo asume que la compresión fue el proceso principal responsable por deformación durante el Neógeno. Estudios regionales indican que por lo menos una fase de transpresión podría haber afectado esta parte de la Cuenca de Maracaibo Pindell (1990). Sin embargo, los datos en Mara Este solamente pueden permitir movimientos de deslizamiento o lateral oblicuos limitados a lo largo de las fallas.

La estructura del campo Mara Este consiste en un anticlinal asimétrico de dirección NE-SW, con declive hacia El campo el Moján al NE y hacia la silla de Netick al SW. Su longitud abarca unos 21 Km y el ancho unos 12 Km en la parte central.

El Campo Mara muestra una estructura resultante de movimientos transcurrentes bajo efectos de compresión. El anticlinal está cortado por tres sistemas de fallas, donde un sistema de fallas longitudinales principales, transcurrentes sinestrales y paralelas a subparalelas al eje de la estructura, delimitan bloques elongados, los cuales están a su

vez cortados por dos sistemas de fallas secundarios, perpendiculares entre sí y ubicados unos en cuadrantes de tensión y otros en cuadrantes de compresión, situados unos en ángulo recto con respecto a los otros y formando un ángulo de unos 45° con el rumbo de las fallas longitudinales, de acuerdo al esquema basado en el elipsoide de deformación (Figura 40)

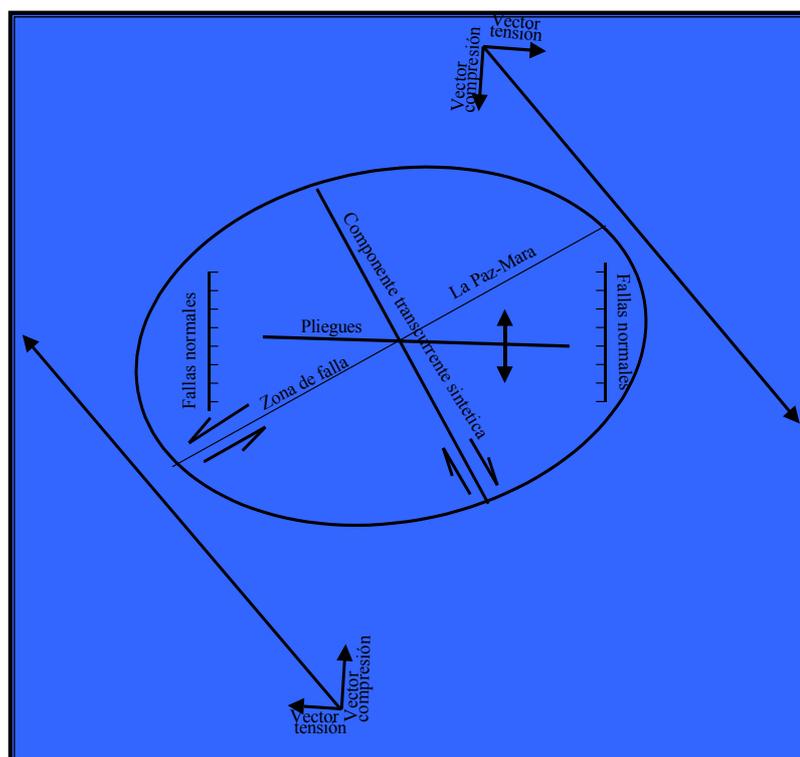


FIGURA 40 Elipsoide de deformación aplicado al Campo Mara.

La zona de falla principal se extiende hacia el suroeste a través de la silla de Netick y del vecino Campo La Paz, mientras que hacia el noreste atraviesa el Campo El Moján hasta encontrar la falla de Oca. Esta última constituye una zona de falla transcurrente dextral de gran envergadura, de la cual la zona de falla del alineamiento La Paz-Mara-El Moján parece ser una componente antitética.

La zona de falla principal atraviesa la parte noroccidental del Campo Mara, delimitada por fallas inversas de ángulo alto y cortada por numerosas fallas del tipo Riedel. Hacia su extremo suroeste la zona de falla se convierte en una sola falla y en el extremo noroeste tiende también a simplificarse. Las numerosas fallas inversas de ángulo alto que integran la zona de falla estuvieron sujetas principalmente a movimientos transcurrentes sinestrales, siendo sus saltos verticales componentes resultantes del empuje cuya dirección en el espacio no coincide con las fricciones que se oponen al movimiento lateral.

Por otra parte el trazo de las fallas es sinuoso y por lo tanto debe tenerse en cuenta que adicionalmente al desplazamiento horizontal, la ruptura del basamento en los tramos curvos de las fallas transcurrentes provoca también severos desplazamientos verticales, donde debido a la fuerte compresión se desarrollan bloques intermedios que pueden levantarse o hundirse presentando por lo general saltos verticales de gran magnitud.

La Zona de Falla Principal presenta una estructura floral, debido a su incremento de volumen de abajo hacia arriba. Así en el mapa estructural del basamento, el tramo central de la zona de falla alcanza a unos 800 m de ancho, mientras que a nivel del marcador GM-2 del Paleoceno llega 1.200 m para aumentar progresivamente en dirección de la superficie del terreno.

Los movimientos diferenciales verticales a lo largo de la Zona de Falla Principal tuvieron lugar durante el Paleoceno y el Eoceno Temprano, seguidos por el desplazamiento lateral sinistral durante el Mioceno. En el Plioceno el área sufrió inclinación, compresión y transurrencia.

Conjuntamente con la Zona de Falla Principal, dos fallas longitudinales paralelas a subparalelas al rumbo de la estructura cortan a ésta separando bloques de forma

elongada, dichas fallas por ser de amplia longitud y por representar límites que dividen a la estructura se denominan fallas longitudinales principales (Fig. 39) .

Evolución estructural del campo Mara Este en el contexto regional

Durante la separación de los continentes Norte y Sur América, tuvo lugar según Pindell (1990), la formación de valles tipo “rift”, durante el Triásico-Jurásico.

En el Jurásico-Cretácico Temprano se formó un sistema de graben y semi-graben, el cual se extendía desde el golfo de Venezuela hasta el Ecuador (Bartok, Reijers y Juhasz, 1981). Los semi grabenes formados bajo esfuerzos tensionales durante el Triásico-Jurásico, fueron deformados bajo compresión durante el Jurásico Tardío, causando el plegamiento de sus sedimentos y la posterior erosión y peneplanación.

Durante el Cretácico y el Paleoceno, la deformación se llevó a cabo bajo tensión, con una reactivación menor de la estructura de los semi-grabenés. La deformación compresional ocurrió durante el Eoceno cuando tuvo lugar la colisión oblicua con la placa del Caribe, causando una subducción oblicua y de bajo ángulo por debajo del bloque del Lago de Maracaibo (Vander Hilst y Mann, 1993). Este evento produjo el cambio a una fase de deformación compresional. El esfuerzo principal de deformación efectiva (σ_1) estuvo orientado en dirección NW-SE (Willense, van de Graaff y Sancevic, 1990).

El acortamiento horizontal causó la formación de fallas inversas del tipo rampa en los bordes de los antiguos semi-grabenés jurásicos, empujando hacia arriba el lado levantado y dando lugar a una estructura de semi-rampa en el área ocupada por el antiguo semi-rift Jurásico, donde la sedimentación deltáica de la Formación Misoa fue de mayor espesor que en el flanco levantado.

Entre los flancos levantado y deprimido se formó una falla normal, lítrica, de crecimiento y de buzamiento oeste, cubriendo y enmascarando la falla o fallas

inversas del tipo rampa, las cuales son de buzamiento este. Ambos tipos de fallas fueron presumiblemente sincrónicas.

El buzamiento de las fallas normales se fue acostando en profundidad, hasta lograr ser paralelo a la estratificación, posición en la que se llevo a cabo el despegue horizontal. Este ultimo permitió mantener en el área de los semi-grabenos eocenos, un estilo estructural tensional, a pesar del estilo compresional reinante, compensando con su movimiento el avance del acortamiento horizontal.

Hacia fines del Eoceno tuvo lugar la inversión estructural, al no poderse compensar más, con el despegue horizontal, el incremento compresional. Las fallas normales se reactivaron en fallas inversas, aunque por lo general el monto de la inversión no fuè suficientemente grande para convertir esas fallas en obviamente inversas y por lo tanto conservan su aspecto “normal”.

Finalmente ocurre una deformación post-Eoceno, durante el levantamiento de los Andes y de la Sierra de Perijà, al final del Mioceno y en el Plioceno, cuando ocurrió en la cuenca de Maracaibo otra fase de deformación compresional, cuya dirección del esfuerzo efectivo principal estuvo esta vez orientado en sentido este-oeste (Willense, van de Graaff y Sancevic,1990).

La compresión contribuyó en reactivar el fallamiento inverso previo, creando fallas de ajuste que complementaron el cuadro estructural. Los bloques cuneiformes encerrados entre las fallas de ajuste y la falla principal agudizaron las formas anticlinales (Anexos 1 y 2), las cuales fueron desplazadas hacia arriba por la compresión.

5. Implicaciones estructurales en la caracterización de los yacimientos

5.1 Generalidades

Para determinar las implicaciones estructurales se recolectaron los conjuntos de datos necesarios para desarrollar un modelo conceptual para el fracturamiento en el yacimiento, relacionado con los estilos de deformación y estructuras geológicas determinadas en este estudio. Se revisaron los datos estáticos, Registros de Imagen, Reportes, Núcleos, Datos de Pérdida de Fluidos y Registros. El enfoque fue generar una tabla completa de datos y hacer correlaciones cruzadas de los conjuntos de datos para probar las hipótesis geológicas. Por ejemplo, para determinar si existe una influencia estratigráfica sobre la distribución de fracturas dentro del yacimiento, se elaboró una gráfica de la intensidad de fractura contra la profundidad para cada pozo. Las correlaciones cruzadas realizadas de los conjuntos de datos fueron basadas en conceptos geológicos.

Una revisión de los datos dinámicos, datos de producción y datos de pruebas de pozos permitieron evaluar cualitativamente las implicaciones para elaborar un modelo de fracturas. Se utilizaron los datos para probar algunas de las observaciones y pulir el modelo conceptual elaborado de los datos estáticos.

La combinación de las fases anteriores generó un modelo conceptual para el estilo y distribución de fracturas en el yacimiento.

Se elaboraron gráficas de la orientación de fracturas contra profundidad y unidad estratigráfica para identificar si una unidad estratigráfica en particular tenía una orientación característica, pero no se evidenció ningún patrón obvio. Las fracturas presentan altos buzamientos pero con un rango de orientaciones dentro de todas las unidades estratigráficas. Se midió la intensidad de fracturas espacialmente con referencia a las fallas limitantes principales.

CAPITULO V
IMPLICACIONES ESTRUCTURALES

Aquí el número total de fracturas registrado en una sección de núcleo, homologadas a la longitud de núcleo por donde se observaron las fracturas. Posteriormente se elaboró un gráfico de estos datos contra la distancia a una falla principal (Figura 41). Como se puede observar, los pozos más cercanos a las fallas típicamente ejercen una influencia sobre la distribución de fracturas en el yacimiento. Aparentemente hay una reducción en la intensidad de fracturas con la distancia de la falla. Esto podría implicar que las fallas tengan una zona de daños asociada. Por lo tanto es probable que la mayor conectividad y la mayor porosidad de fractura estén asociadas con fallas reconocidas sísmicamente a grande escala.

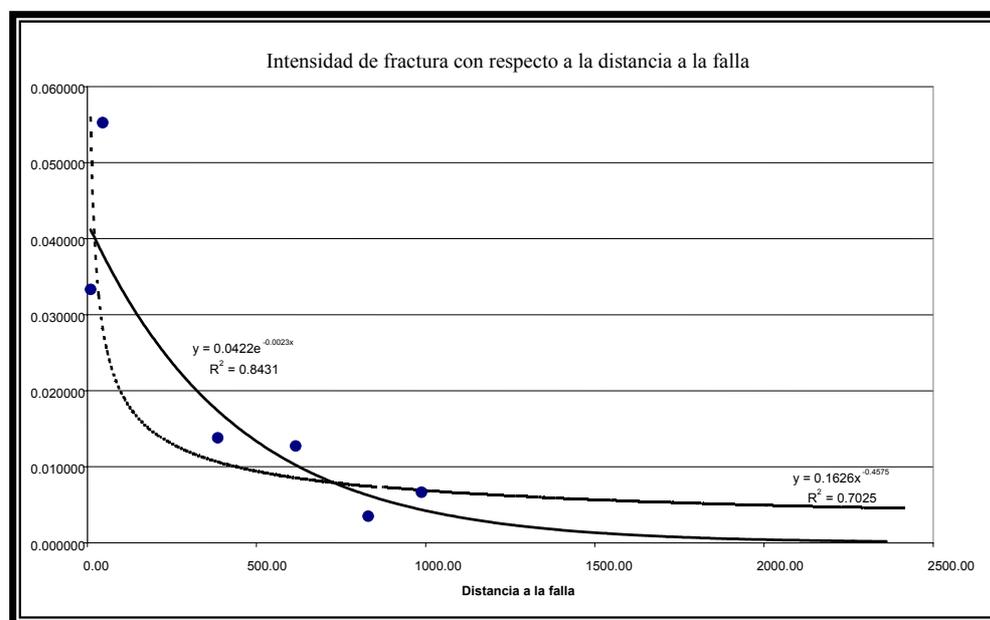


FIGURA 41 Gráfica de frecuencia de fracturas y distancia a fallas interpretadas por la sísmica 3D

5.2 Pérdida de Fluido

Se recolectaron datos sobre la pérdida de fluido y se elaboraron gráficos de dichos datos y profundidad (Figura 42). El propósito de esto era determinar si existía un intervalo en particular que era conductor de fluidos durante la perforación. Se dividió la pérdida de fluidos en agua, lodo y otros. Como se puede observar en la gráfica, no

hay un intervalo estratigráfico donde se observa la pérdida de fluido preferencial. Varios pozos tienen fluido perdido en varios intervalos mientras que otros varios mostraron poca o ninguna pérdida de fluido.

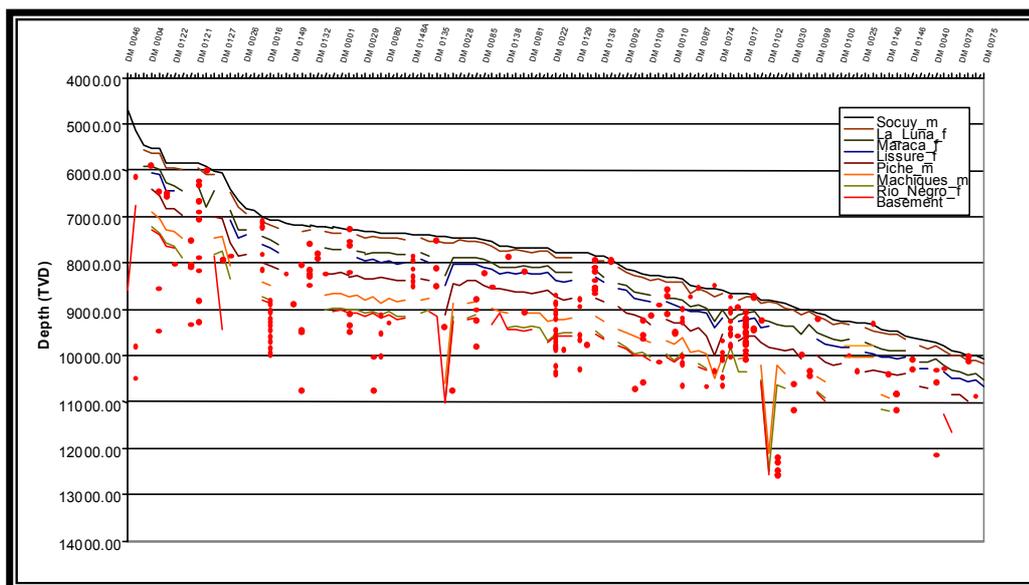


FIGURA 42 Gráfica de zonas de circulación perdida y profundidad para cada pozo con un registro de circulación perdida. También se muestran los horizontes estratigráficos

Luego se elaboraron gráficas de los datos de pérdida de fluido y la distancia de una falla apreciada sísmicamente. Aquí existe una correlación general entre los datos (Figura 43). Los pozos ubicados cerca de una falla principal muestran un número mayor de zonas de pérdida de fluido que los pozos alejados de una falla principal. Sin embargo, algunos pozos cercanos a fallas no tenían ningún registro de la pérdida de fluido. Lo que se desconoce de estos pozos es si no hubo pérdida de fluido o si simplemente no se registró la pérdida de fluido. Si se supone que solamente las fracturas causarían la pérdida de fluido, esto sugiere que podrían haber mayores concentraciones de fracturas asociadas con el fallamiento a gran escala.

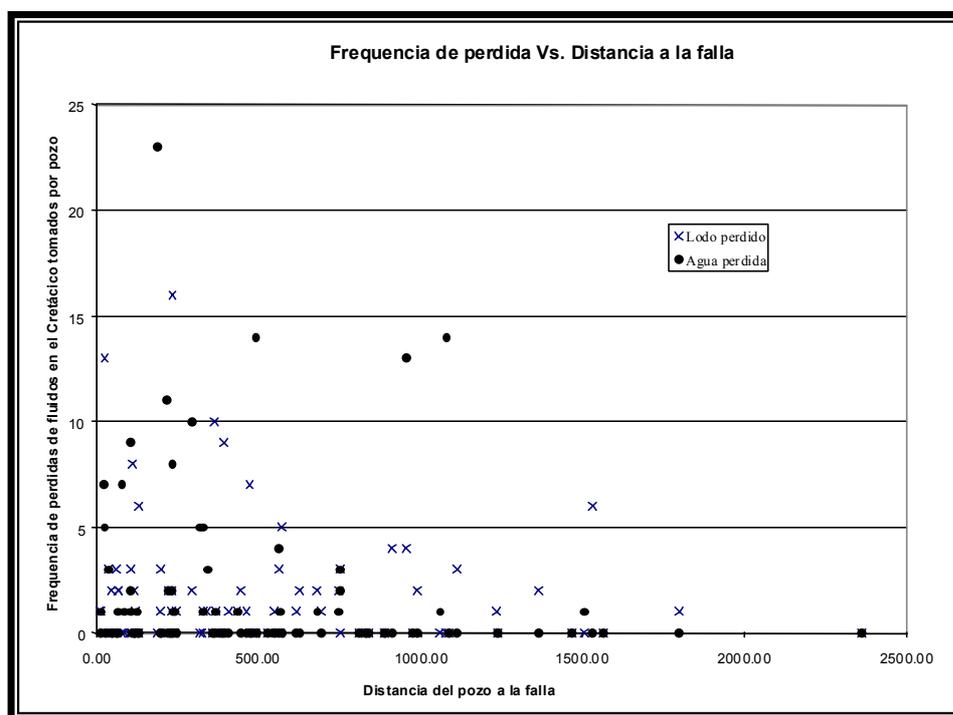


FIGURA 43 Gráfico del número de zonas de circulación perdida y distancia a la falla sísmica más cercana

5.3 Revisión cualitativa de los datos dinámicos en el contexto del modelo

Esta sección revisa los datos dinámicos. Estos son los datos de producción y de pruebas de pozo. Estos datos serán discutidos en el contexto del modelo conceptual formulado durante la fase anterior.

5.3.1 Datos de Producción

Se recolectaron los datos de producción y se elaboraron gráficas espaciales, dependiendo de la localización de los pozos. El propósito de esto es identificar áreas de producción característicamente buenas para el yacimiento.

Las gráficas del total de petróleo producido para cada pozo muestra una buena correlación visual entre las fallas y los pozos que son buenos productores (Figura 44). El mejor de los pozos es DM-0101 que se encuentra en la intersección de las dos

fallas limitantes principales. Sin embargo no todos los pozos ubicados a lo largo de los hilos de fallas son buenos productores. Esto es particularmente el caso para la falla de rumbo SE. La elaboración de gráficas de la producción inicial de todos los líquidos, petróleo y agua, permite el examen de la habilidad del pozo de fluir a diferencia de la habilidad de producción de petróleo. Al hacer esto, se puede observar que la mayoría de los pozos ubicados a lo largo de este hilo de fallas tienen altas tasas de flujo (Figura 45). Aparentemente existe una buena correlación entre la proximidad del pozo a una falla y el potencial de flujo. Las gráficas de la producción de petróleo acumulada y la distancia de la falla reconocida sísmicamente más cercana muestran que existe una buena correlación (Figura 46).

La implicación es que los controles principales sobre el flujo de fluido están asociados con las fallas reconocidas sísmicamente. Esto está de acuerdo con la observación de que la mayor intensidad de fracturamiento se encuentra asociada con estas fallas. Es probable que las zonas de daño asociadas con estas fallas sean por lo tanto responsables por la producción principal en la parte del Cretáceo del yacimiento Mara Este.

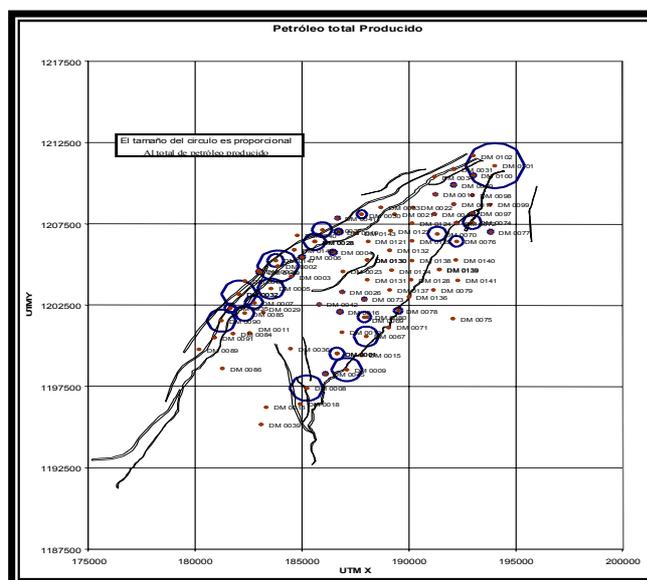


FIGURA 44 Gráfica de burbuja (“Bubble plot”) de la producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Cretáceo

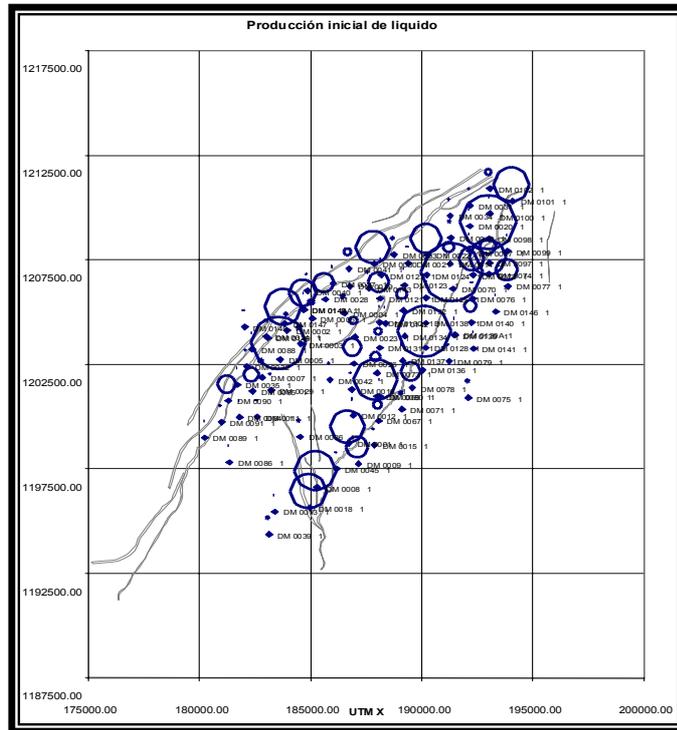


FIGURA 45 Gráfica de burbuja (“Bubble plot”) de la producción inicial de líquido para cada pozo en el Cretáceo

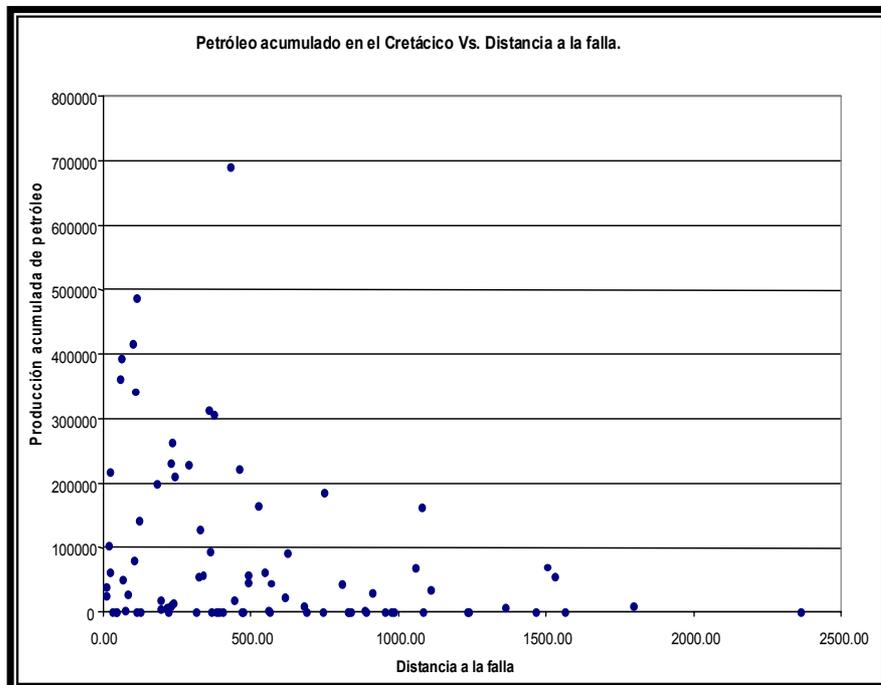


FIGURA 46 Gráfica de la producción de petróleo acumulada para cada pozo y la distancia a la falla sísmica más cercana

5.3.2 Datos de Pruebas de Pozo

Es muy difícil derivar un valor de kH en un yacimiento fracturado, particularmente cuando no existe ningún espesor estratigráfico obvio del fracturamiento observado en los datos estáticos. Sin embargo, las pruebas de pozo pueden ser extremadamente valiosas para examinar la naturaleza de la conectividad de la red de fracturas. Cuando se normalicen los datos de pruebas de pozos por la tasa (“rate normalized”), es posible comparar directamente los datos de pruebas de pozo.

Los datos de pruebas de pozo de Mara Este muestran dos características distintas:

a) *Flujo lineal*, con un gradiente empinado positivo para el derivado para la duración de las pruebas del pozo. Esto implica que el flujo es típicamente flujo de tubería y que la red de fracturas es probablemente escasamente conectada.

b) *Flujo esférico*, con el derivado de tiempo mediano a tardío y con un gradiente empinado negativo. La implicación de esto es que las pruebas de pozo encuentran una red de fracturas cada vez mejor conectada, lo que permite el flujo en toda dirección o que existe una mayor intensidad de fracturas lo que permite un incremento del flujo

La gráfica de los datos de pruebas de pozo al lado del pozo donde se recolectaron los datos de pruebas de pozo muestra que existe una relación consistente entre la forma de la prueba de pozo y la localización del pozo dentro del yacimiento (Figura 47). El pozo ubicado cerca de una falla reconocida sísmicamente típicamente tiene un flujo esférico, lo que sugiere que el flujo cerca de estas fallas sea a través de una red de fracturas bien conectadas. Las pruebas de pozos dentro de pozos alejados de fallas típicamente muestran un flujo lineal, lo que sugiere que la red de fracturas de fondo esté conectada escasamente.

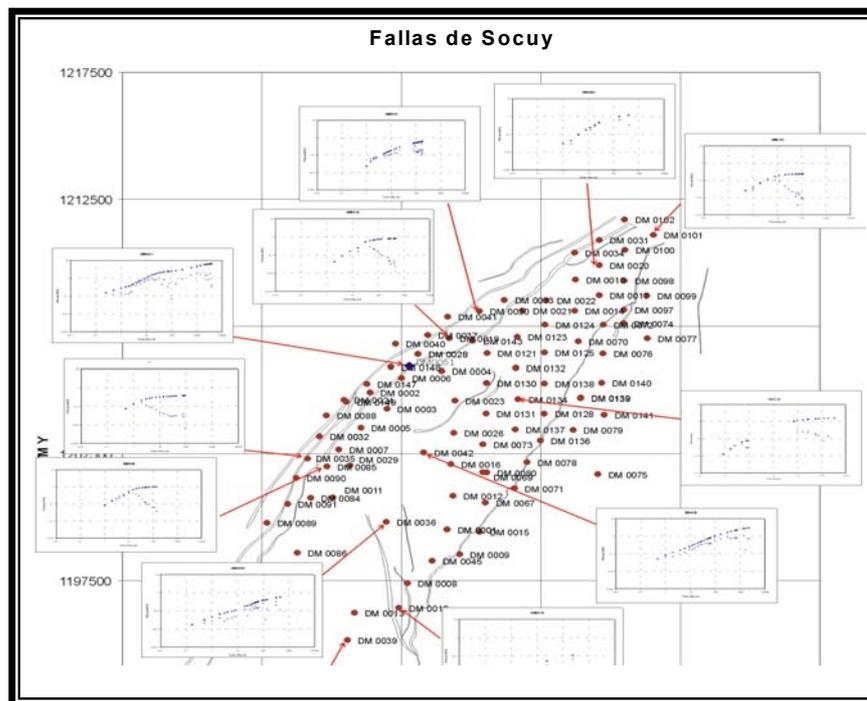


FIGURA 47 Distribución de incrementos de presión (“pressure buildups”) en el Cretácico

Suponiendo que todas las fracturas tengan la misma permeabilidad, al utilizar un valor de kH interpretado de las pruebas de pozos H reflejará la intensidad de fractura. Una gráfica de kH y distancia a la falla más cercana produce una curva similar a la observada en la intensidad de fractura normalizada, lo que sugiere que el comportamiento dinámico de la red de fracturas esté asociado directamente con la intensidad de fracturamiento en la red. También sugiere que el control más significativo del comportamiento dinámico de un pozo es la distancia a una falla reconocida sísmicamente.

5.4 Desarrollo del Modelo Conceptual

5.4.1 Cretácico

El trabajo anterior ha notado que los pozos perforados hacia el límite del campo, muy cercanos a las fallas límites, muestran caudales más altos que los pozos perforados

hacia el centro del campo. El examen de las curvas de respuesta de las pruebas de pozo revela dos patrones generales: pozos que muestran características fuertes de flujo esférico, interpretado como una respuesta relacionada a la falla y los que muestran un flujo lineal predominante, interpretado como flujo relacionado con fracturas de fondo.

Basándose en esto, se definieron dos miembros finales de comportamiento de pozo, los cuales son:

- Zonas del yacimiento donde el flujo es dominado por flujo ampliamente lineal a través de una red de fracturas de fondo; y
- Zonas del yacimiento donde los datos de tiempo tempranos representan el flujo a través de la red de fracturas de fondo, pero los datos de tiempo posteriores son dominados por flujo esférico altamente conectado cuando el pozo bombea de una falla principal.

5.4.2 Basamento

Existen pocos datos directos sobre las fracturas en el basamento. La mayor parte de la información viene de los datos de producción, con alguna información de las pérdidas de circulación y Pruebas de Presión Momentánea (“Transient Pressure”). Se examinaron relaciones similares a las encontradas en el Cretácico. Se elaboró una gráfica de producción de petróleo acumulada y distancia a falla. Aquí no existe la misma relación como se ve en el Cretácico (Figura 48), lo que sugiere que la naturaleza de la red de fracturas en el basamento sea distinta a la del Cretácico. Una gráfica de producción de petróleo, agua y gas y profundidad en el basamento muestra que generalmente por la mayor parte del basamento existen niveles similares de petróleo/gas/agua (Figura 49). Para desarrollar esta estratificación de los fluidos, debería haber una red de fracturas razonablemente bien conectadas.

Para determinar si existe cualquier tendencia distinta de la comunicación dinámica en el basamento se llevó a cabo una Correlación de Spearman Rank de los datos de

producción en el basamento. Esto es un análisis de correlación sencillo que examina la similitud de tendencias de producción entre pozos. Si se encuentra una similitud se supone que haya una conexión entre los pozos. Sin embargo, no se encontraron tendencias distintas en los datos de producción o que sugiere que no haya una dirección de conectividad de fracturas dominante.

5.5 Hipótesis potencial para la evolución del Yacimiento Mara Este

Para entender la probable distribución de fracturas es necesario ubicar las observaciones realizadas para el basamento y Cretácico en el contexto de una evolución geológica de la formación del yacimiento. La idea principal detrás de este modelo evolucionario es confiar en la interpretación sísmica de las fallas principales en el yacimiento y las secciones resultantes. Cualquier modelo geológico elaborado debe explicar las observaciones principales de que el control sobre la distribución de fracturas se debe de las fallas limitantes principales y en el basamento esto no es el caso. En el basamento aparentemente hay una red de fracturas bien conectadas que es independiente de la deformación tectónica que ocurrió durante los años de depositación del Paleozoico.

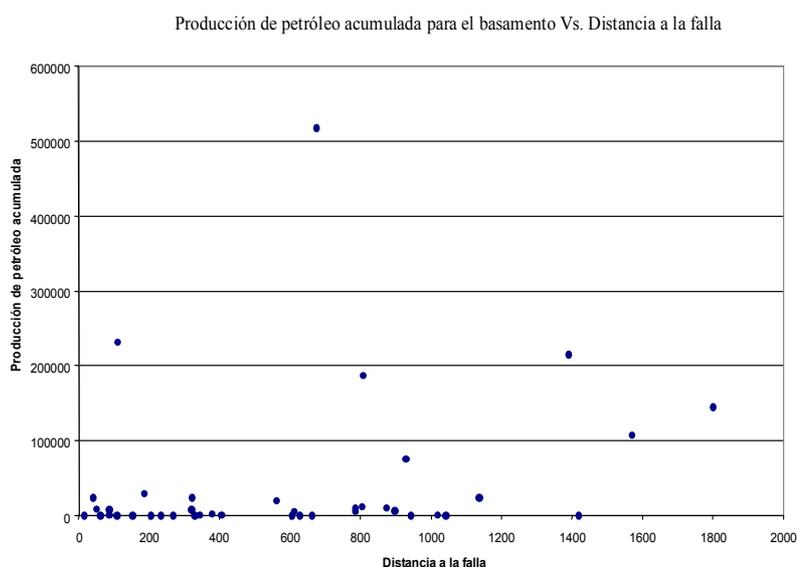


FIGURA 48 Gráfica de producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Basamento y distancia a la falla sísmica más cercana

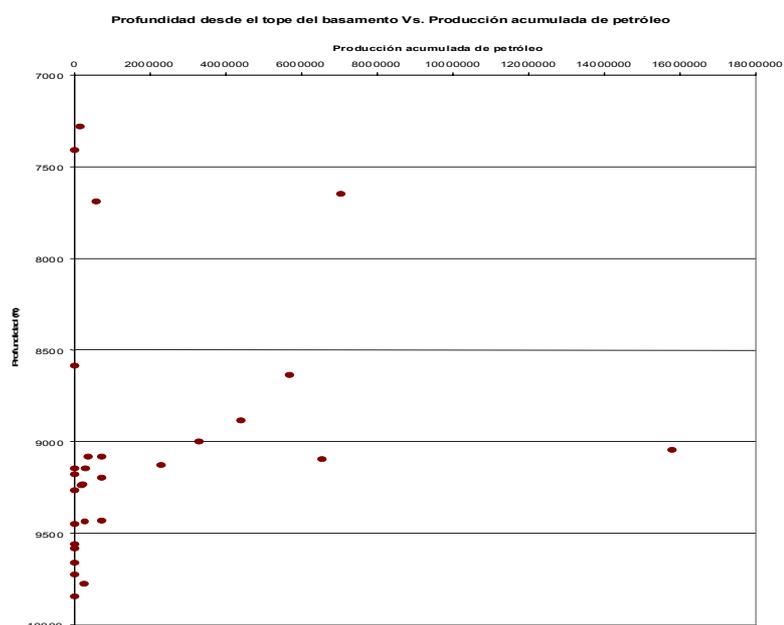


FIGURA 49 Gráfico de producción de petróleo acumulada para cada pozo en el Basamento y profundidad

Efectivamente se plantea un mínimo de 3 fases de deformación de las rocas del basamento, (granitos y rocas metamórficas del Paleozoico). Debería haber ocurrido un periodo de levantamiento cuando las rocas del basamento fueron llevadas hasta la superficie y expuestas. Este proceso induciría fracturas de alivio de presión y la erosión en las capas superiores del basamento. Es probable que esta capa podría haber mejorado la permeabilidad y porosidad localmente, pero si las fracturas resultan de este proceso la permeabilidad y porosidad disminuirían con la profundidad. Otras observaciones cualitativas que son consistentes con esta idea vienen del área La Paz donde la perforación continuó al mismo ritmo independientemente de la transición de tipo de roca en el tope del basamento, lo que sugiere también que el tope del basamento pudiese ser roca fracturada por erosión más débil.

Posteriormente ocurrió un periodo de depositación del Cretácico y extensión, probablemente utilizando fallas ya existentes en el basamento. Esto enterraría la capa de fracturas del basamento y causaría la propagación de las fallas de extensión local a

través de la sección del Cretácico. La compresión posterior se localizaría en las fallas de extensión en el Cretácico y formaría una zona de daños alrededor de las fallas de extensión preexistentes e invertiría algunas de las estructuras orientadas preferencialmente. El proceso de inversión causaría fracturamiento intenso local alrededor de las fallas para ajustarse a los grandes cambios de volumen.

Los dos procesos de fracturamiento de alivio de presión dentro del basamento y la deformación tectónica localizada dentro del Cretácico pueden explicar las diferencias observadas en las características del yacimiento. Esta hipótesis sobre el desarrollo del yacimiento a través de la historia de tres fases de deformación también explica la variación observada en la densidad de fracturas y el comportamiento dinámico de los yacimientos.

5.6 Incorporación del Modelo Geológico en la Simulación del Yacimiento

Es aparente en los datos geológicos, tales como la densidad de fracturas, zonas de pérdida de circulación, que las fallas sísmicas juegan un papel importante en la distribución de fracturas. Esto se confirma aun más con las observaciones de los datos dinámicos, tales como los datos de incrementos de presión (“pressure buildup”), datos de producción y datos geofísicos. Para cualquier validación del modelo geológico mediante el cotejo histórico, sería necesario tener la flexibilidad para incorporar este mismo como control sobre los parámetros asignados en la simulación de Eclipse. Utilizando el modelo geológico de gOcad, se puede calcular la distancia a las fallas sobre un mallado. Esto se hizo para las fallas principales dentro del modelo geológico hacia el este . Luego este mallado puede ser ingresado directamente en el mallado de Eclipse y definido como parámetro dentro de la simulación. Esto mejora mucho la flexibilidad para la simulación de Mara Este.

Se consideraron varias hipótesis que deben ser examinadas utilizando la simulación de cotejo histórico que son:

- a) La conexión entre los yacimientos del basamento y del Cretácico.
- b) La naturaleza del flujo para las fallas principales:
 - ¿Son sellantes a través de la superficie de dislocación?
 - ¿Conductoras a través de la superficie de dislocación?
 - ¿Sellantes a lo largo de la superficie de dislocación?
 - ¿Conductoras a lo largo de la superficie de dislocación?
- c) La naturaleza de la variabilidad de porosidad con la distancia de las fallas, principalmente en el Cretácico.
- d) La naturaleza de la variabilidad de permeabilidad con la distancia de las fallas, principalmente en el Cretácico.
- e) La naturaleza de la variabilidad de porosidad con profundidad en el yacimiento, principalmente en el basamento.
- f) La naturaleza de la variabilidad de permeabilidad con profundidad en el yacimiento, principalmente en el basamento.
- g) La capacidad de variar las propiedades de sellado de las fallas principales con profundidad en el yacimiento.
- h) La configuración actual del modelo de Eclipse tiene la capacidad de examinar todas estas relaciones y permitirá un examen detallado del impacto del modelo geológico sobre la producción.

5.7 Presiones

Con referencia a las pruebas correspondientes al Cretácico, se puede decir que el 52 % presentan comportamiento infinito debido posiblemente al corto tiempo de las pruebas y a la alta densidad de fracturas que la asemeja a un comportamiento homogéneo. Esto se complementa con los valores aproximados del factor de almacenamiento $W=1$ y valores muy bajos del coeficiente de flujo de interporosidades. Así mismo, un 48% de las pruebas ajustaron mejor para un

comportamiento finito. Es importante notar que en algunos casos la distancia del pozo a la falla es pequeña, esto posiblemente sea el límite de la interfase del sistema de fracturas con el medio matricial.

Desde el punto de vista de ubicación en el mapa, los mayores valores de capacidad de flujo se encuentran localizados a lo largo del sistema de fallas norte, cuyos valores varían entre 11352 md-pie (DM-0101) y 2087 md-pie (DM-0085). En 5 realizadas en los pozos: DM-0005 y DM-0026 de la parte central del campo, observaron comportamiento de doble porosidad, así como también en los pozos DM-0018 y DM-0067 de la parte sur.

De las 27 pruebas analizadas pertenecientes al basamento, solo el 7.4% de las mismas arrojaron comportamiento finito o detectan algún límite cercano al pozo. El resto de las pruebas (92.6%), manifiesta comportamiento infinito representado en todas estas pruebas por el factor de almacenamiento W igual a la unidad, indicativo esto de un alto grado de almacenaje en las fracturas y un coeficiente de flujo de interporosidades muy pequeño que indica la existencia de una matriz de pobre aporte y de bloques pequeños, donde domina el flujo de fractura a lo largo de toda la prueba. Lo antes expuesto nos lleva a concluir que la matriz en toda la formación es inerte o de pobre aporte y que todo el almacenamiento y flujo de fluido en el yacimiento ocurre a nivel de las fracturas.

5.8 Producción

5.8.1 Análisis de declinación

5.8.1.1 Consideraciones Generales

Para realizar los análisis de las declinaciones de producción de los pozos del Campo Mara Este se realizaron gráficos logarítmicos de tasa de petróleo con tiempo (Log Q_o vs T) para sus pozos, utilizando la aplicación OFM (Oil Field Manager-versión 3.1),

la cual facilitó la obtención del valor de las reservas de petróleo representando la información de manera gráfica y numérica.

En la elaboración y análisis de los gráficos, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Se utilizaron los datos de producción de los pozos cargados en el proyecto de OFM que se encuentra en el servidor de PDVSA.
- Debido a que en el momento de la realización de algunos de los gráficos solo se contó con historia de producción hasta junio del 2.000 (falta de actualización), fue necesario tomar del CENTINELA los valores de producción hasta diciembre del mismo año, con el fin de realizar la predicción hasta esa fecha. Sin embargo es necesario aclarar que los valores de producción de los pozos cargados en el CENTINELA son obtenidos de pruebas y no necesariamente corresponden con la tasa de producción mensual del pozo.
- Para el cálculo de las tasas de declinación se consideró el comportamiento de producción más representativo del pozo, tomando en cuenta sus periodos de cierre y los trabajos realizados al mismo. Esta consideración esta basada en que todos los factores que han afectado al yacimiento o al pozo en el pasado lo seguirán afectando en el futuro.
- En vista de que se tienen datos de producción mensual, se realizaron los análisis de declinación mensual nominal por considerarse más representativos; ya que de esta manera se puede visualizar mejor el comportamiento del pozo durante el año, lo que permite realizar un mejor ajuste de la tasa de declinación de producción del pozo.

5.8.1.2Cretácico

En el Campo Mara Este existen 91 pozos completados en el Cretácico, a los cuales se les analizó su comportamiento de producción con el fin de determinar su tasa de declinación de producción en el tiempo y así de esta manera poder cotejar sus

reservas remanentes a la última fecha de producción y en un futuro cercano realizar las predicciones hasta un límite económico establecido por PDVSA.

5.8.1.3 Resultados Obtenidos

Para una mejor comprensión de los análisis de los 91 pozos analizados, se tabularon los resultados indicando la tasa de declinación y el porcentaje de error entre las reservas reales del pozo y las reservas arrojadas por el OFM, parámetro que sirvió para corroborar la tendencia seleccionada.

Según los resultados obtenidos del análisis de cada pozo (activo o inactivo) para diciembre del 2.002, se tiene que:

- El 60 % de los pozos del Cretácico presentaron una tasa de declinación mensual nominal entre 0.18 % -20 %, siendo el pozo DM-0072 quien presentó esta última tasa de declinación (20%). Esto se debió a que el pozo presentó un período muy corto de producción lo que hizo difícil encontrar una tendencia representativa del mismo. Sin embargo, considerando el período de producción mostrado en el análisis, solo arrojó una diferencia de 5.320 BN (32.378 BN por predicción y 27.058 BN del OFM). No obstante, considerando las condiciones antes expuestas y a la pequeña diferencia entre los valores, puede considerarse válido este ajuste
- El 40 % de los pozos no fueron analizados debido a la falta de información.

5.9 Balance de Materiales

5.9.1 Efecto de las Fallas

Con el objeto de probar el carácter sellante de las fallas presentes en el modelo desarrollado se efectuó una corrida con todas las fallas cerradas. Los resultados de esta corrida muestra niveles altos de presiones en la región Cyac-1, la cual se encuentra cerrada por las fallas Oeste y 21. En las demás regiones del Cretáceo el

efecto del cierre de las fallas es poco notable. En cuanto al basamento, la región Beste presentó altas presiones a diferencia de las regiones Bcentral y Boeste que mostraron solo un ligero efecto hacia presiones altas. En definitiva pareciera que las fallas no representan barreras al movimiento del flujo.

5.9.2 Efecto de Crossflow

Dado que el mejor cotejo de las presiones se realizó sin permitir la comunicación entre capas a través de los pozos (crossflow), se preparó una corrida abriendo esa posibilidad. Los resultados demuestran que esta posibilidad no tiene un efecto significativo sobre el comportamiento de las presiones por lo que continuaremos asumiendo que no hay crossflow en los pozos que están produciendo del Cretácico y basamento, simultáneamente.

5.9.3 Modelo de Doble Porosidad

El modelo de doble porosidad fue creado a partir del modelo de porosidad simple agregando un número de capas similares para representar la matriz. Así el nuevo modelo tiene dimensiones de 140x73x14 para un total de 143080 bloques. Las propiedades para los bloques que representan las fracturas se establecieron iguales a las usadas para el cotejo del modelo de porosidad simple. Para los bloques de matriz se asignaron, inicialmente, valores de porosidad y permeabilidad constantes, para todos los bloques, de 0.1% y 0.001 mD, respectivamente. El parámetro sigma " σ " que controla la transmisibilidad matriz-fractura fue establecido para todos los bloques, inicialmente, en 0.0000001. Se utilizaron las mismas curvas de permeabilidad relativas para la matriz y las fracturas. Se usaron los mismos PVTs, para el Cretácico y el basamento, que en el modelo de porosidad simple.

5.10 Desarrollo de Trampas

Las primeras indicaciones de la acumulación de petróleo en Mara Este están registradas en rocas del Cretácico. Algunas dolomitas delgadas en los núcleos de carbonatos del Cretácico del horst central tienen porosidad intercrystalina que

actualmente está rellena de bitumen. Este bitumen está relacionado probablemente con una fase temprana de migración de petróleo que ocurrió durante el Eoceno Medio a Tardío. La mayor parte de la porosidad de matriz en los carbonatos del Cretácico ya había sido destruida por la cementación anterior antes de la formación de esta estructura de horst temprano. Superficies de fracturación y dislocación ensanchadas por solución que se formaron durante el Cretácico Tardío también habrían sido rellenadas con petróleo durante este tiempo, probablemente ayudando a preservar estos rasgos.

Otras indicaciones de la migración de petróleo temprana podrían ser observadas por la preservación de la porosidad más alta en rocas del Paleoceno y Eoceno en el área del horst central. Este horst central era el rasgo positivo dominante que existió durante la edad del Paleoceno y Eoceno.

La erosión profunda de las rocas del Eoceno en la cresta de la estructura ocurrió durante o después del Eoceno Tardío. Esto probablemente permitió el escape de los componentes de petróleo más volátiles y permitió el influjo de agua meteórica para mezclar y alterar las acumulaciones de petróleo a asfalto. Los yacimientos petrolíferos del Eoceno y Paleoceno probablemente eran mucho más degradados que las acumulaciones más profundas del Cretácico y basamento.

La fase final de generación y emplazamiento probablemente ocurrió durante el Mio-Plioceno después del plegamiento e inclinación final de la estructura. Los yacimientos petrolíferos existentes se reajustaron para coincidir con la configuración estructural final.

Las trampas estructurales y estratigráficas de combinación en las rocas del Eoceno y Paleoceno ubicadas en las áreas de buzamiento empinado hacia el sur y oeste y posiblemente también ubicadas en el flanco del este del horst central, son el resultado de migración y entrapamiento de etapa tardía.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Durante el Terciario tuvieron lugar tres fases tectónicas de deformación ocurridas al final del Paleoceno, durante el Eoceno Tardío y en el Plioceno. Como resultado de movimientos transcurrentes bajo efectos de compresión, la estructura del Campo Mara consiste en un anticlinal asimétrico elongado en dirección NE-SO, con declive hacia el Campo El Moján al NE y hacia la silla de Netick al SO.
 - La intensidad de fracturas correlaciona con la distancia a fallas en el Cretácico, de la misma forma zonas de pérdida de circulación durante la perforación de pozos aumentan en intensidad con la proximidad a fallas sísmicas, por lo que se determinó que la producción en el Cretácico tiene una buena correlación con la proximidad a zonas de fallas.
 - Al comparar con las estructuras, las observaciones del comportamiento de la producción de los yacimientos del Cretácico y del basamento inducen a asumir que las sinuosidades de las fallas transcurrentes provocaron en las zonas de convexidad de los bloques adyacentes, áreas de distensión y por consiguiente de buena permeabilidad y producción, mientras que en las zonas cóncavas se formaron áreas de compresión de permeabilidad y producción baja o nula.
 - A pesar de que para el Campo Mara Este se asume un contacto agua-petróleo situado a unos 11.000 pies por debajo del nivel del mar, las observaciones de los últimos años hacen suponer que el agua que originalmente ocupó las fracturas del basamento fue desplazada por el petróleo proveniente del Cretácico a través de los planos de yuxtaposición de las numerosas fallas, obligándola a migrar hacia los flancos a lo largo de la complicada red de fracturas, para quedar atrapada en algunas fracturas con terminaciones
-
-

ciegas ubicadas en cualquier nivel de la columna. Por consiguiente, se supone que la red de fracturas que contiene hidrocarburos coexiste con fracturas que contienen agua.

- Teniendo en cuenta que el petróleo que se extrae de las calizas del Cretácico y del basamento proviene esencialmente de las fracturas, es obvio que su producción depende principalmente de la intensidad del fracturamiento y sus características, lo que implica que la ubicación y distribución de fallas y fracturas (probablemente mejoradas por disolución) controlan la producción económica en los carbonatos del Cretácico.
 - No hay control litológico o estratigráfico evidente sobre la intensidad de fracturas; en un primer momento la presencia de estas se asoció usualmente con pérdidas de circulación durante la perforación de los pozos, posteriormente se determinó que por lo general la producción proviene de una o dos zonas de entrada a lo largo de la columna, independientemente de su ubicación estratigráfica.
 - Probablemente hay orígenes distintos para las fracturas en el Cretácico y en el basamento. En primer lugar, la red de fracturas del Cretácico está dominada por fracturas tectónicas asociadas con el fallamiento a gran escala en el yacimiento, mientras que es probable que las fracturas en el basamento se formaron como resultado del alivio de presión mediante el levantamiento del basamento hasta la superficie.
 - Los datos estáticos implican que la influencia principal sobre la distribución de fracturas parecen ser las fallas a gran escala. Es probable que ante intensidades suficientemente altas de fracturas exista una red conectada adecuada para permitir el flujo de fluidos por la red.
-

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Los datos sísmicos deben ser reprocesados y reinterpretados para resolver completamente el complejo “pop-up” central y los miembros con altos buzamientos del este y oeste de la estructura de Mara Este.
- Se sugiere organizar y validar toda la información disponible en PDVSA para lograr el buen desarrollo de trabajos geológicos y de producción.
- Es recomendable incluir el modelado estructural balanceado 3-D en estudios futuros, para de esta forma tener la descripción de las estructuras con un mayor detalle.
- Los datos más significantes a recolectar serían datos de registros de imagen. Esto es especialmente cierto para el basamento dado que se conoce muy poco sobre la orientación o distribución de fracturas en este horizonte. También se requieren datos de registros de imagen para la sección de Cretácico. La clave sería adquirir datos de una zona de fallas cercana y también alejado de una zona de fallas para determinar las diferencias de intensidad entre las zonas bien conectadas y las zonas pobremente conectadas.
- Es necesario que para determinar el grado de compartimentalización se realicen una serie de pruebas de interferencia con el objeto de cuantificar la conectividad horizontal.
- Se debe prestar especial atención a la geometría correcta del sistema de fallas en la simulación, porque de ello depende la ubicación de la porosidad y permeabilidad más significativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS

Appelman, T. (1965), *Estimate of Mara Cretaceous and Basement Gas Potential at the Beginning of Assuming UL-GOR Production*, Shell de Venezuela, EPC No. 6429 American Association of Petroleum Geologist Continuing Education Course Note Series # 31,

Arnold (1961). *En* González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

Audemard M., Felipe, (1997) *Tectonics of Western Venezuela*, Doctoral Thesis, Rice University, inedito

Baggelaar, H. (1944), *Preliminary Note on the Palaeontology and Minerology of Well DM-1 (KM-24 Area, Mara District)*, ,

Baggelaar, H., (1946) *Paleontological Report No. 242 Faunal Stratiography of the Wells DM 2 and DM 3*, Shell (EPC No. 6212),

Beicip Franlab, (1999) *La Paz Field, Integrated Reservoir Study*,

Bockmeulen, H., Barker, C. & Dickey, P.A., (1983) *Geology and Geochemistry of Crude Oils, Bolivar Coastal Fields, Venezuela*, AAPG Bulletin Vol. 67, No. 2,

Boesi, T., (1995) *La Ceiba y Catatumbo: Reto exploratorio en una cuenca madura*, Maraven, EPC-13782,

Boesi, T., (1992) *Resumen de la Guía de Excursión a los Flancos del Suroeste de Los Andes (Informe de Campo)*, Maraven, EPC No. 12944,

-
- Boesi, T., Lagazzi, R., Chacarteghui, F., Sampson, E., Falcón, F. (1992), *Una visión integrada de la Formación Misoa del Eoceno, Cuenca de Maracaibo, Venezuela*, Maraven, EPC-13047
- Boesi, T., Testamarck, (1992) J.S., Odremán, O., *Sedimentación Cretácica y Paleogena en el Suroeste de los Andes Venezolanos*, Maraven, EPC-13046,
- Bracho, L., (1983) *Revision del Area ExCorpoven Campo Mara*, Maraven (EPC No. 7801),
- Bueno, E., (1996) *La Isla de Toas y el Sistema Transcurrente de OCA. Guía de Excursión de Geología Estructural a la Isla de Toas y a la cantera al SO de Carrasquero*, Maraven, EPC-14038,
- Bueno, E., Hartung, W., (1984) *Campo Mara: Interpretación Estructural*, Maraven, S.A., EPC No. 7648,
- Cant, D.J., (1992) *Subsurface Facies Analysis*, Walker, R.G. & James, N.P. eds. Facies Models. Geological Society of Canada,
- Carter, Joe O., June, (1952) *Geology of the Mara Field: A review of Structural Concepts and Reservoir Characteristics*, Mene Grande Oil Company (EPC No. 3891),
- Clark, F.W., Dixon, A.F., (1913) *Report on District of Mara, State of Zulia*, Shell de Venezuela, EPC-18,
- Crews, W.E., Hermes, J.J., (1946) *Notes on the Paleocene and Cretaceous Of Mara - La Paz Fields*, Anglo Saxon Petroleum Company, EPC No. 579,
-

Dengo, C.A., & Covey, M.C., , (1993) *Structure of the Eastern Cordillera of Columbia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonics*, AAPG Bulletin, V.77 No. 8

Dewan, J.T., (1983) *Essentials of Modern Open-Hole Log Interpretation*, PennWell Publishing Company,

Dikkers, A. J., (1951) *A Stratigraphical and Tectonical Analysis of the Mara Field*, Shell de Venezuela (EPC No. 1027),

Dikkers, A. J., (1953) *Shallow Prospects in the Mara Field*, Shell de Venezuela, EPC-2298, April,

Dikkers, A.J., (1951) *The Composition of the Cretaceous Limestone Formation Water in the Mara-Maracaibo Area*, Shell de Venezuela (EPC No. 8960),

Dikkers, A.J., (1951) *A Stratigraphical and Tectonical Analysis of the Mara Field*, Anglo Saxon Petroleum Co. (EPC No. 8958),

EGEP Consultores, , (1996) *Pronóstico de Incremento de Potencial y Cálculo de Reservas Recuperables de los Yacimientos del Basamento, Campo Mara Este, Fase II, Informe Final*, EPC-14151

Exgeo, (1996) *Informe Final: Levantamiento Sísmico La Paz - Netick 3D 95 y Mara 3D Extensión 95*, Maraven, EPC-13965,

FIORILLO (1976), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

González, J.C., Iturralde de Arozena, J.M., & Cadillat, X.P., (1980) *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*, Ediciones Foninves

Goodman, E.D., Yurewicz, D.A., Stone, G.C., Norton, I.O. & Green, A.R., (1996) *Tectonic Controls on Paleogeographic and Basin Evolution, Northern South America*, Memorias del VIII Congreso Venezolano de Geofísica Maracaibo,

Hedberg, H.D., Sass, L.C., (1937) *Sinopsis de las Formaciones Geológicas de la Parte Occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela*, Trabajo presentado ante el Primer Congreso Geológico Venezolano

GRAF (1969). *En* González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

HASS Y HUBMAN (1937), *En* González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

Hegwein, W. M., (1944) *The Netick Structure in Eastern Mara*, Shell de Venezuela, EPC No. 8668

Janssen, F. L., (1979) *Estructural Style of Northwestern Venezuela*, Maraven, S.A. (EPC No. 6270),

KEREZ Y SAN JUAN (1964), *En* González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

Lugo Lobo, Jairo Miguel, (1991) *Cretaceous to Neogene Tectonic Control on Sedimentation: Maracaibo Basin, Venezuela*, Doctoral Dissertation, The University of Texas at Austin,

Lugo, C., Espina, V., (1995) *Post-Mortem del Pozo DM-150X (Loc. Tres Bocas - Ax)*, PDVSA E&P (REN-839),

Lugo, J. & Mann, P., (1995) *Jurassic-Eocene Tectonic Evolution of the Maracaibo Basin, Venezuela*, en Tankard, A.J., Suarez Soruco, R. & Welsink, H.J. eds., *Petroleum Basins of South America*, AAPG Memorias

Martínez 1976, en González de Juana *et al.*, 1980), (Pindel *et al.*, 1998 en IRT).

MARECHAL (1983), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

MILLER ET AL. (1958), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.

Molero, Gerardo y Arciniegas, Alvaro, (1984) *Comportamiento de Producción de los Pozos del Campo Mara incluidos en el Estudio realizado por Petrofausto, S.A.*, Maraven, S.A. (EPC No. 7890),

Molina, Angel, (1986) *Campo Mara: Revisión Geológica de Netick y Mara Este*, Maraven, EPC No. 10973,

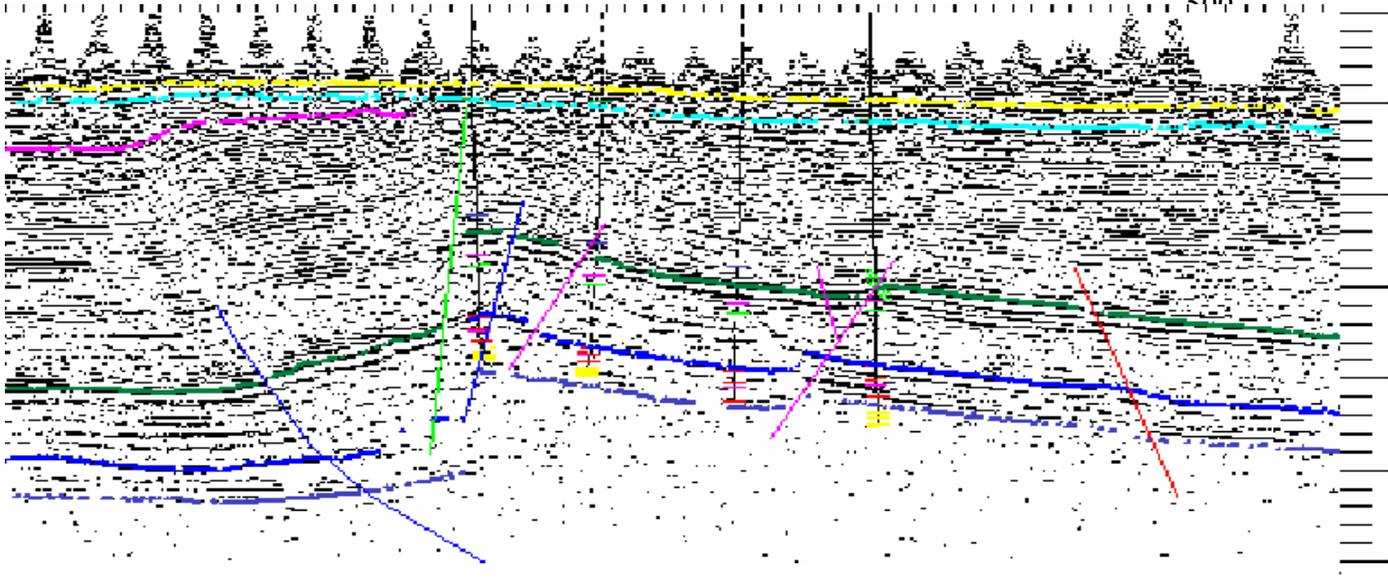
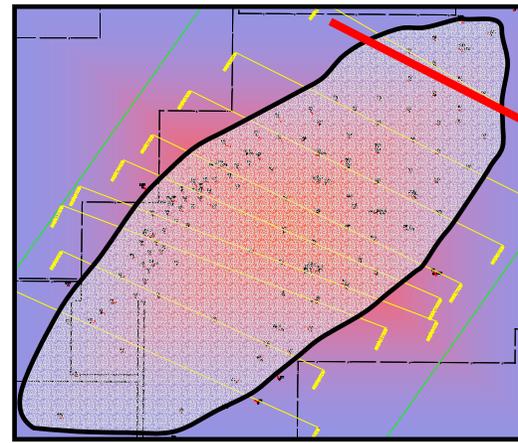
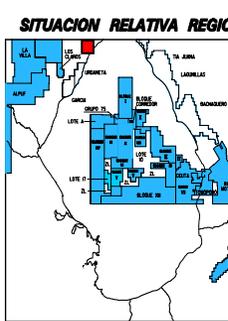
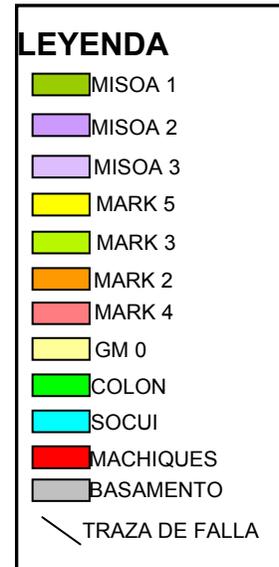
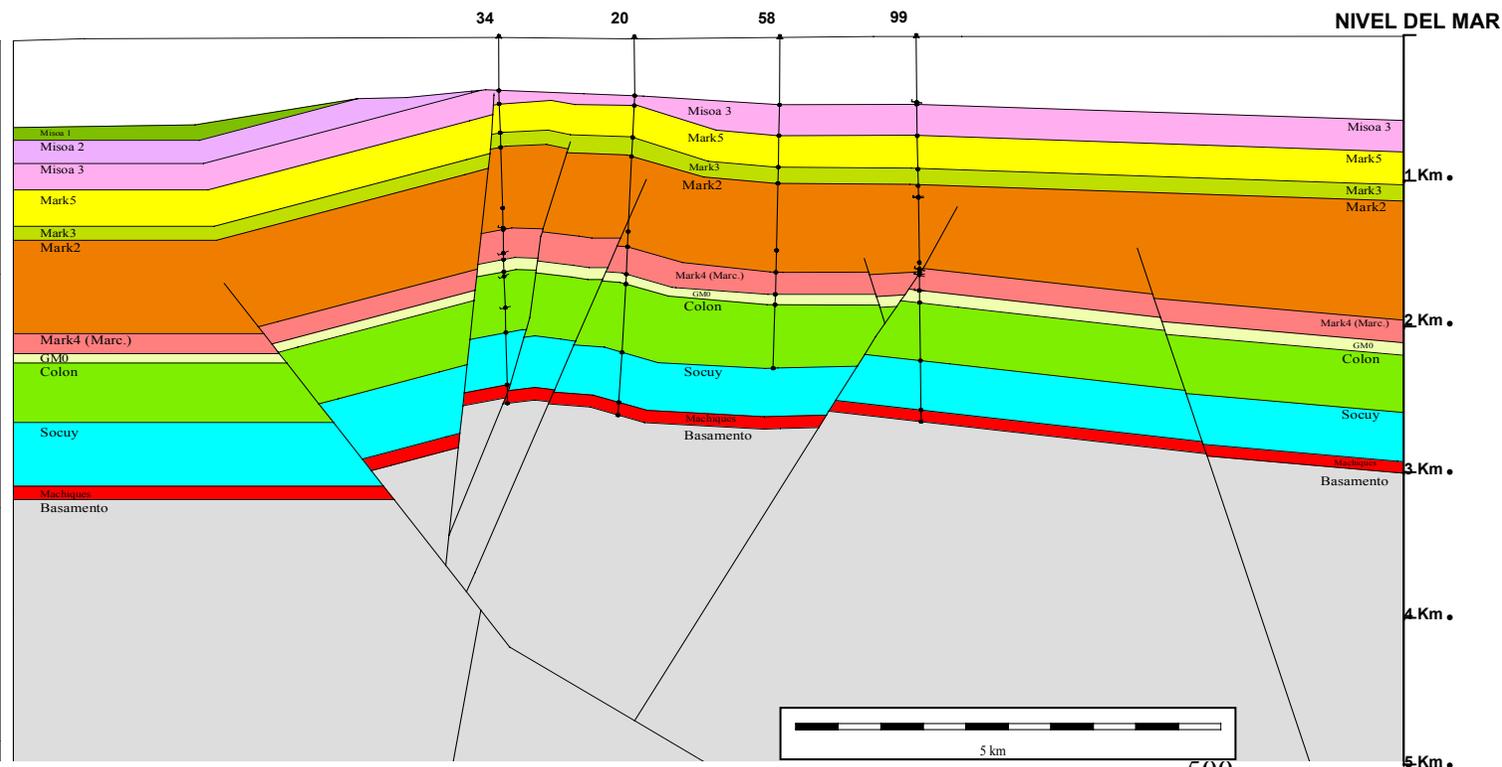
-
- Pestman, P., Ghosh, S., Meléndez, L. & Zambrano, E., (1996) *Marco Estructural y Paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo durante el Paleógeno*, en Memorias del VI Simposio Bolivariano,
- Ramírez y Campos (1972), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.
- Rivas, John, (1990) *Interpretación Sísmica del Levantamiento Sismográfico de Maracaibo 3D - 1988*, Maraven (EPC No. 12761),
- SHAGAM (1969), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.
- SUTTON, (1946). En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.
- SZENK (1959), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.
- Talukdar, S.C. & Marcano, F., (1994) *Petroleum Systems of the Maracaibo Basin, Venezuela*, in Magoon, L.B. & Dow, W.G., eds. *The Petroleum System - from Source to Trap*. AAPG Memoir 60,
- VAN VEEN (1972), En González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard C., X (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Tomos I y II. Caracas. Foninves. 1031 p.
-

V.V.A. Consultores, C.A., (1998) *Estudio Geomecánico del Área Mara-Oeste: Contribución a un Estudio Multidisciplinario, Informe Final*,

Young, C.A., June, (1951) *Tectonics of the Mara Area: An Analysis of the 5-M-5 to DM-19 Area*, Mene Grande Oil Co. (EPC No. 3928),

ANEXOS

LINEA ARBITRARIA 1



PDVSA

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

"TRABAJO ESPECIAL DE GRADO" (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACION DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA.

Sección Sísmica y Balanceada Arb-1 (Anexo 3)

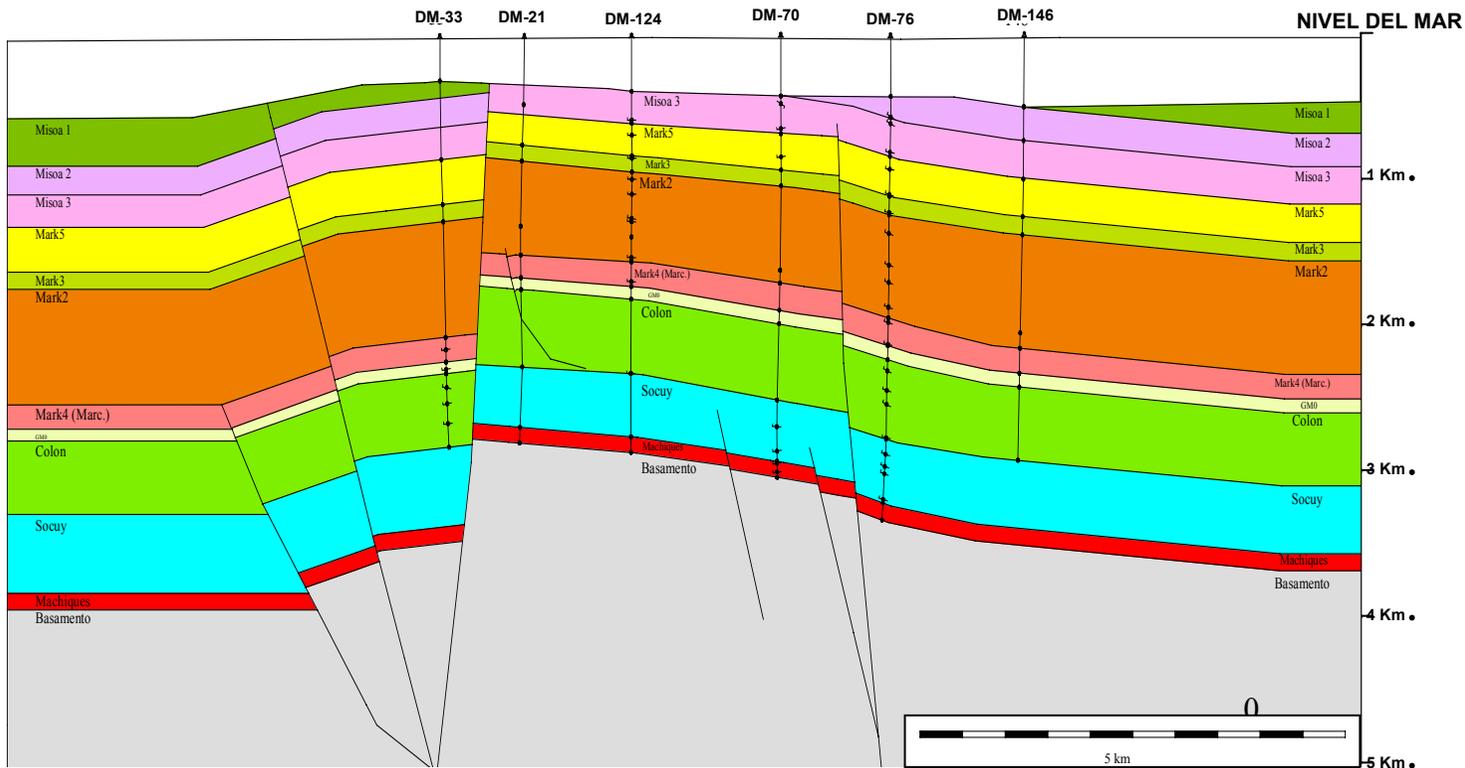
REVISADO POR:
ING. ALBENIS BILCHES

ELABORADO POR:
DELMIRO PRIETO

FECHA:
JUNIO 2003

ESCALA HOR: 1:50000 U.E TIERRA OESTE SECCION

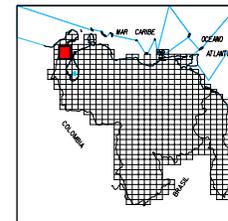
LINEA ARBITRARIA 3



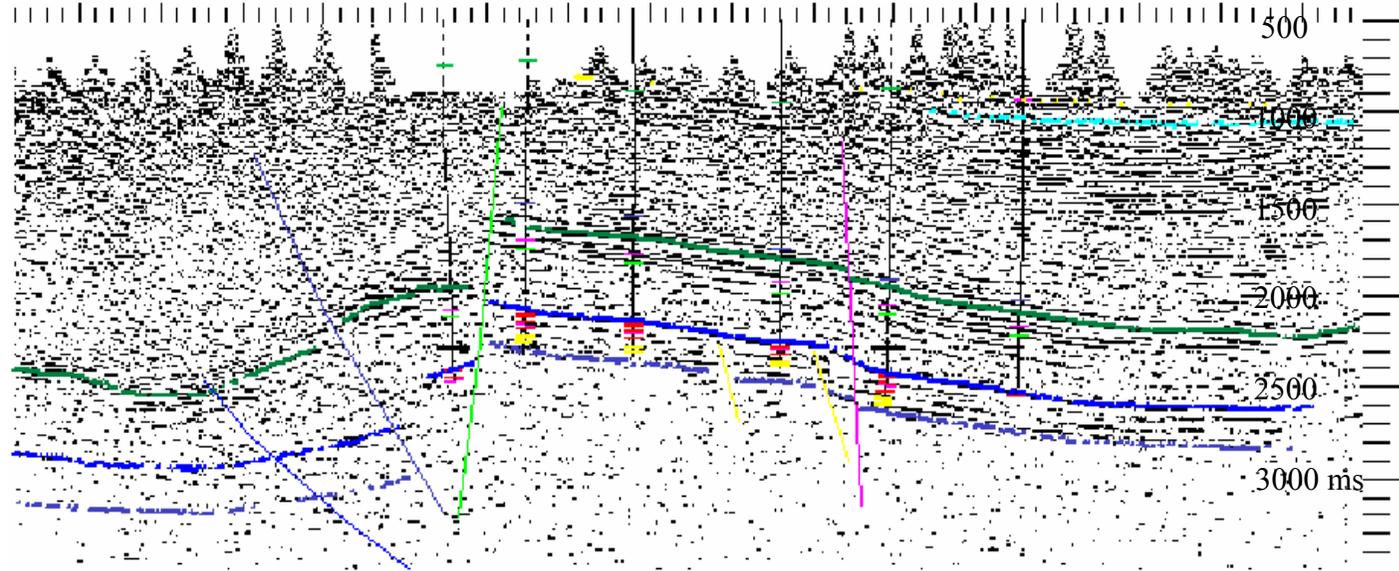
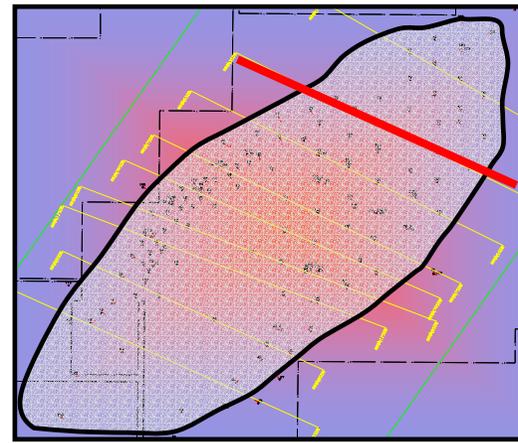
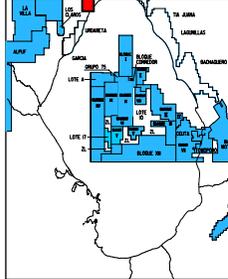
LEYENDA

- MISOA 1
- MISOA 2
- MISOA 3
- MARK 5
- MARK 3
- MARK 2
- MARK 4
- GM 0
- COLON
- SOCUI
- MACHIKUES
- BASAMENTO
- TRAZA DE FALLA

SITUACION RELATIVA NACIONAL



SITUACION RELATIVA REGIONAL



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

"TRABAJO ESPECIAL DE GRADO" (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACION DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA"

Sección Sísmica y Balancead Arb-3 (Anexo 4)

REVISADO POR:
ING. ALBENIS BILCHES

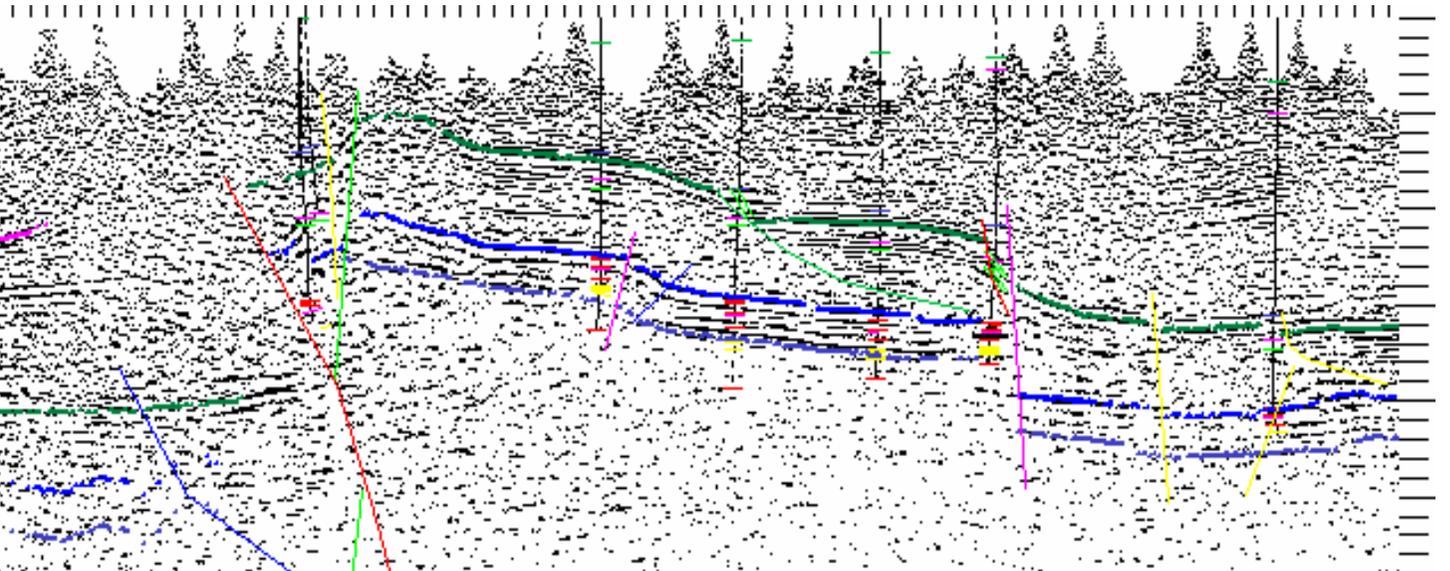
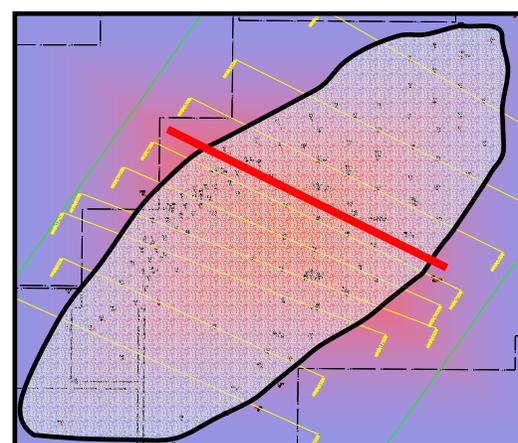
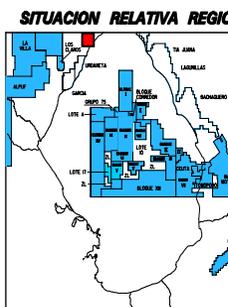
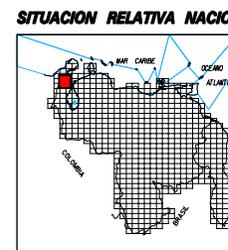
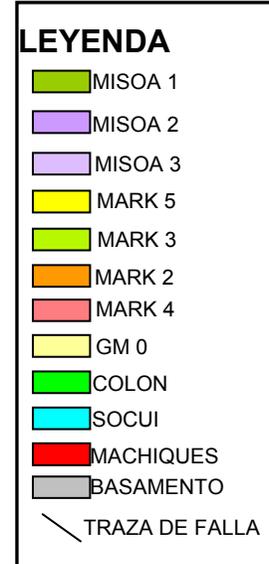
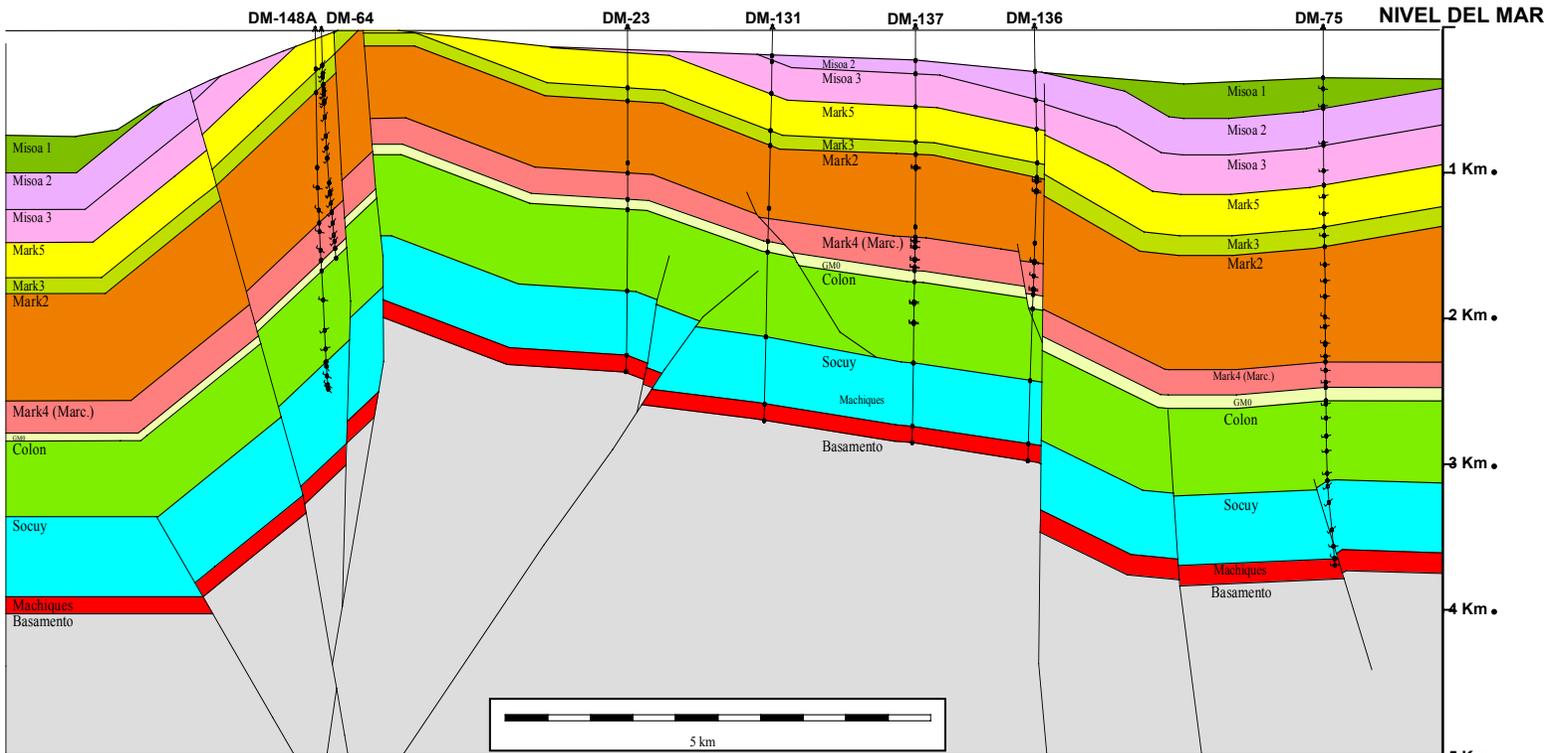
ELABORADO POR:
DELMIRO PRIETO

FECHA:
JUNIO 2003

ESCALA HORIZONTAL: 4:50000

U.E TIERRA OESTE

LÍNEA ARBITRARIA 7





PDVSA

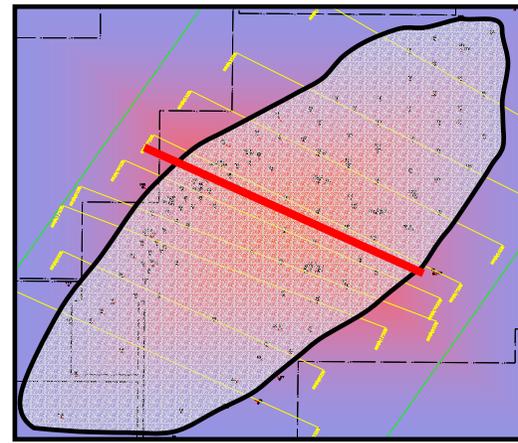
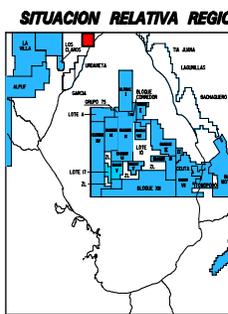
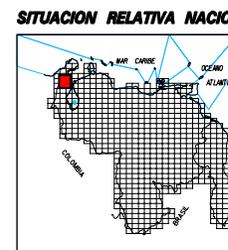
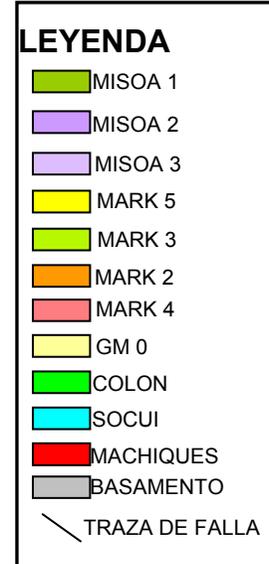
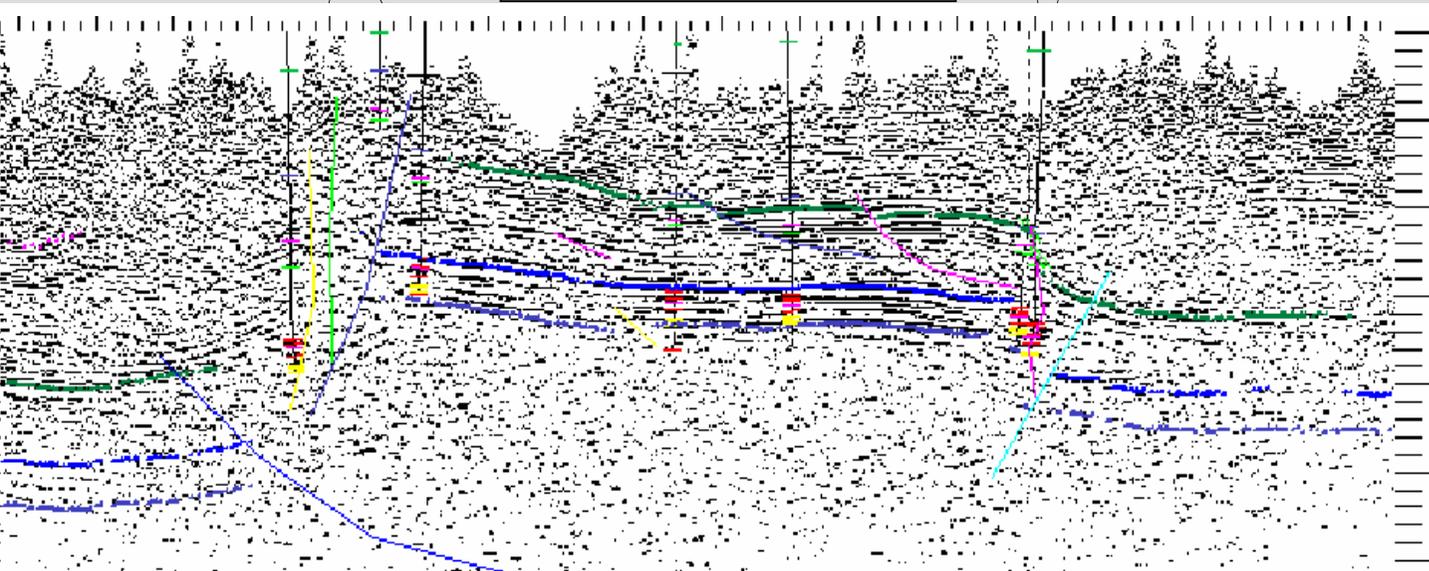
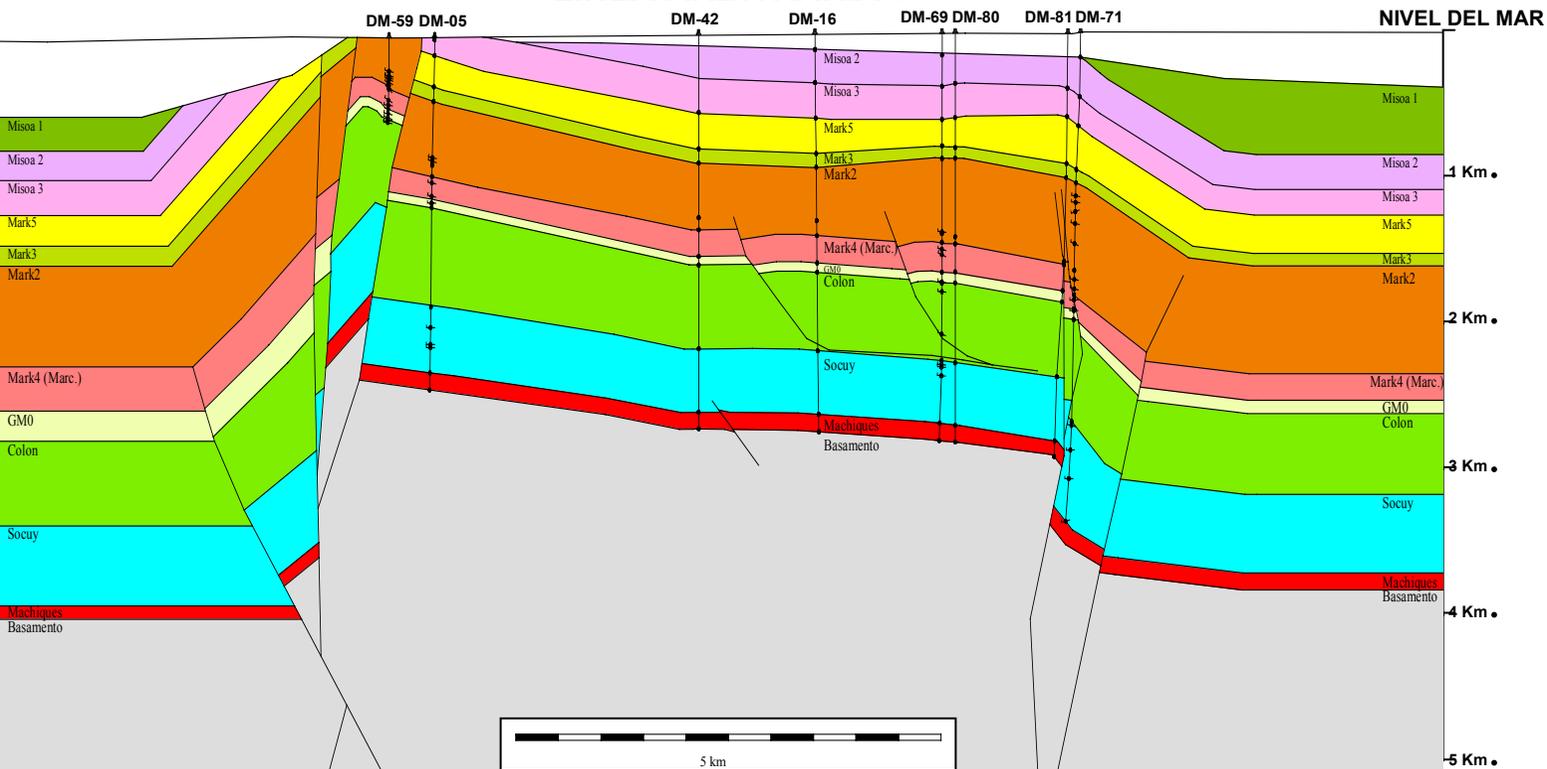
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFI

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO (2003) DELMIRO PRIETO R.
RECARACTERIZACION DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA

Sección Sísmica y Balanceada Arb-7 (Anexo 5)

| | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES | ELABORADO POR: DELMIRO PRIETO | FECHA: JUNIO 2003 |
| ESCALA HORIZONTAL: 1:50000 | U.E TIERRA OESTE | |

LÍNEA ARBITRARIA 8





PDVSA

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

"TRABAJO ESPECIAL DE GRADO" (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACION DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA.

Sección Sísmica y Balanceada Arb-8 (Anexo 6)

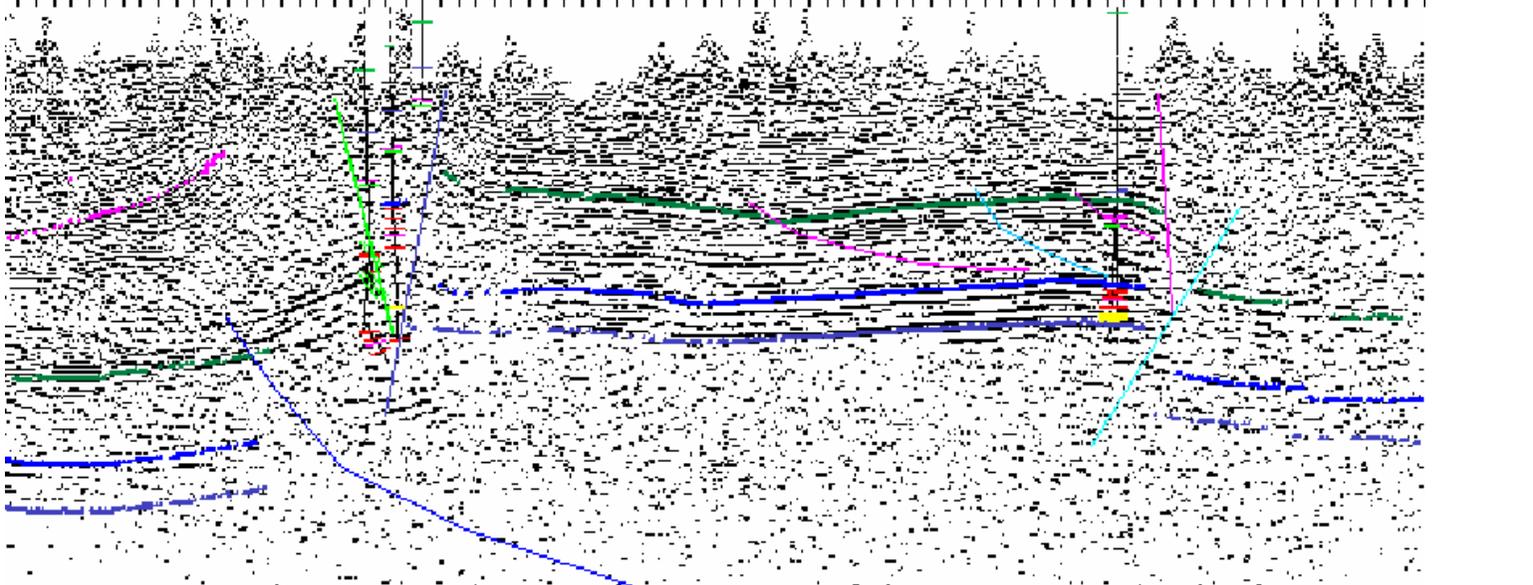
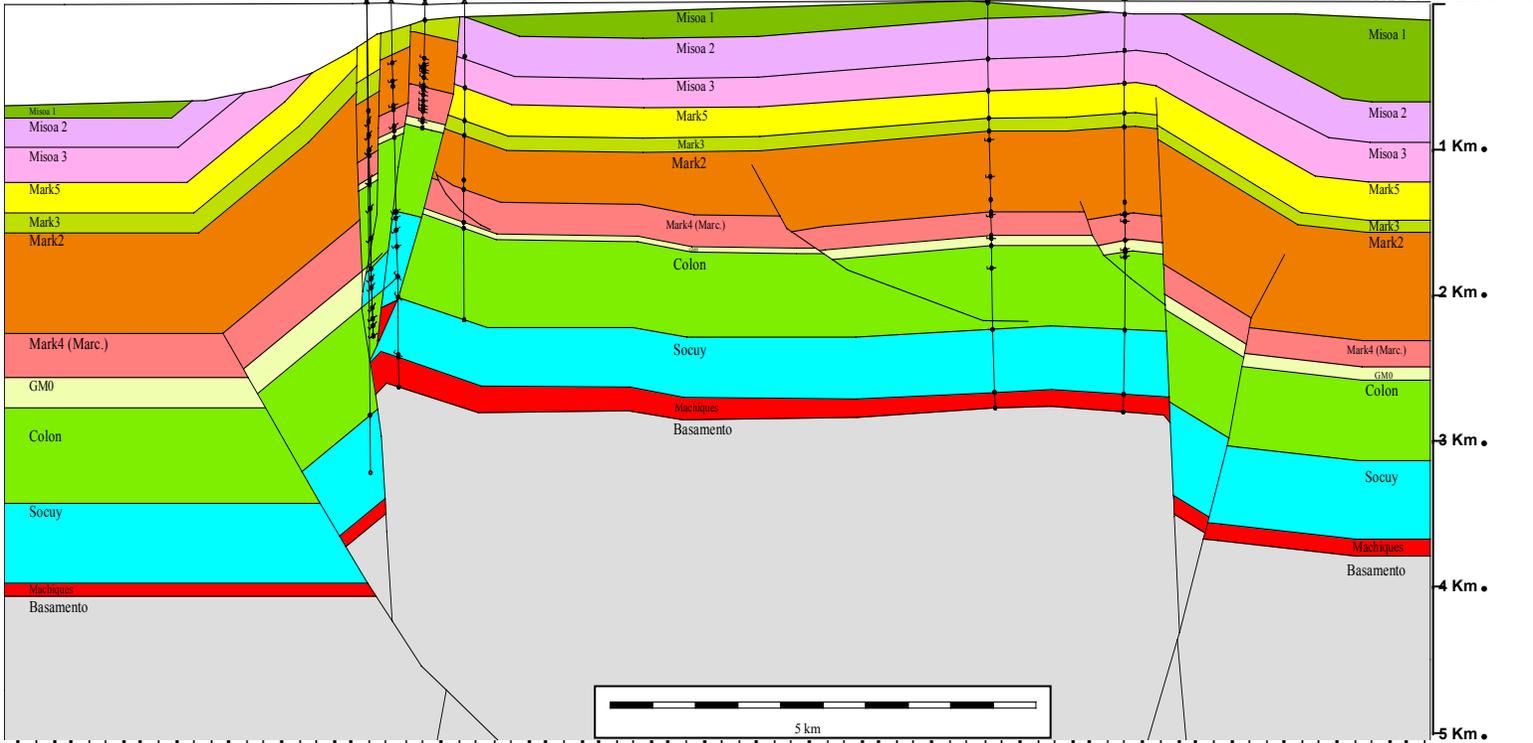
| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES | ELABORADO POR: ING. DELMIRO PRIETO | FECHA: JUNIO 2003 |
| ESCALA HORIZONTAL: 1:50000 | SECCION: U.E TIERRA OESTE | |

LINEA ARBITRARIA 12

DM-32 DM-46 DM-58 DM-07

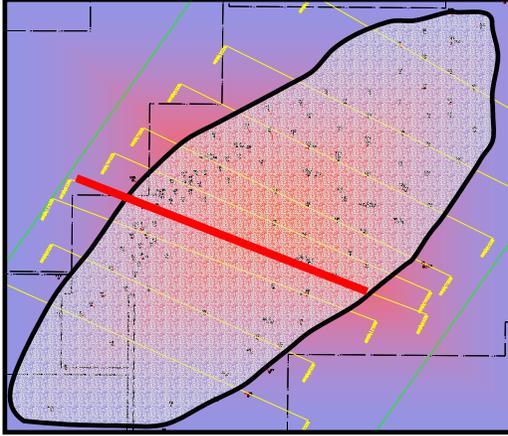
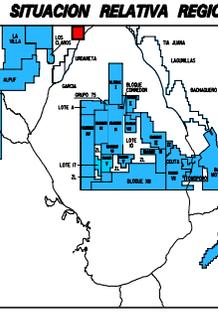
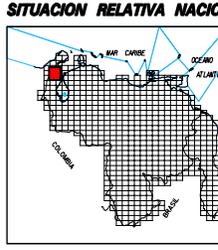
DM-12 DM-67

NIVEL DEL MAR



LEYENDA

- MISOA 1
- MISOA 2
- MISOA 3
- MARK 5
- MARK 3
- MARK 2
- MARK 4
- GM 0
- COLON
- SOCUI
- MACHQUES
- BASAMENTO
- TRAZA DE FALLA



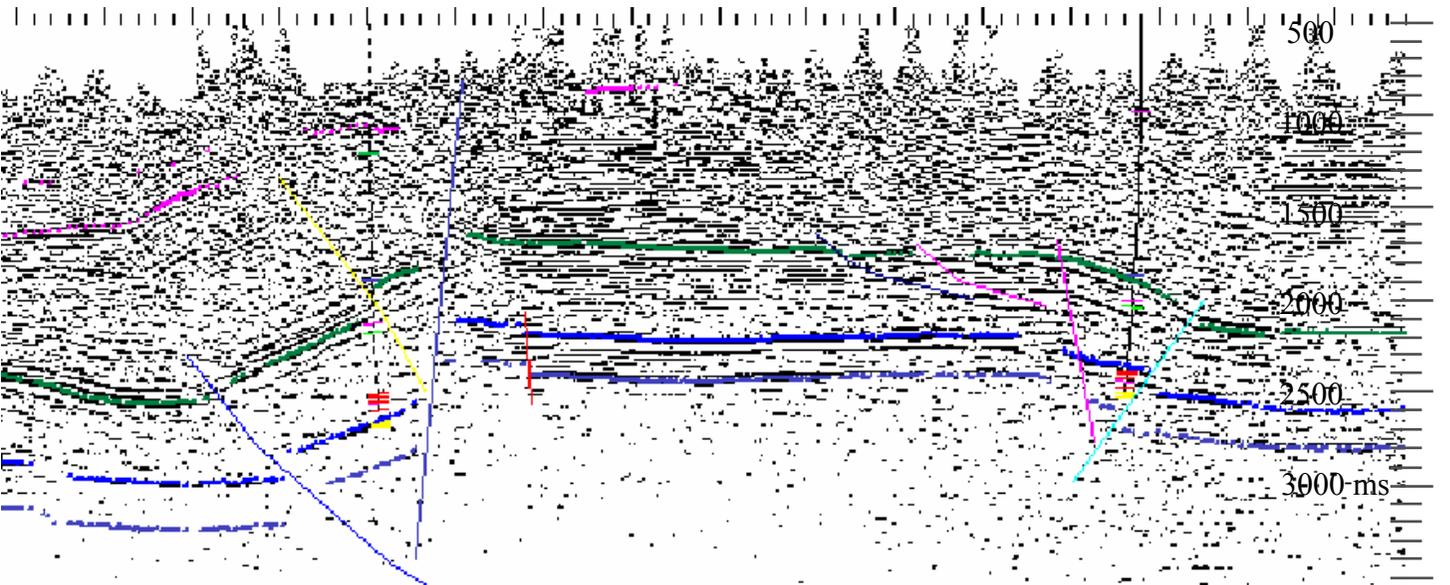
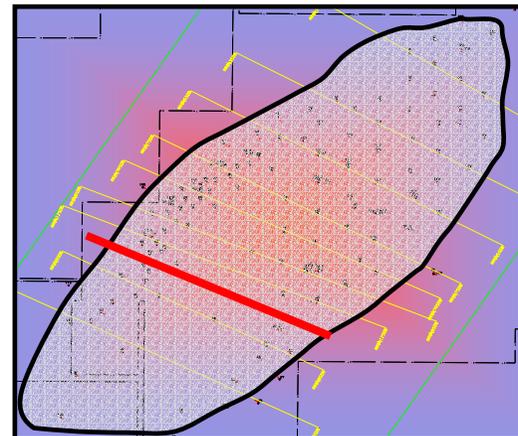
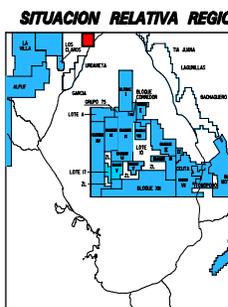
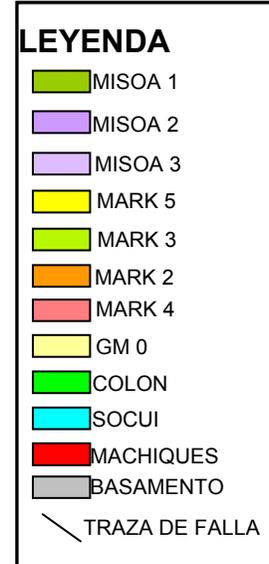
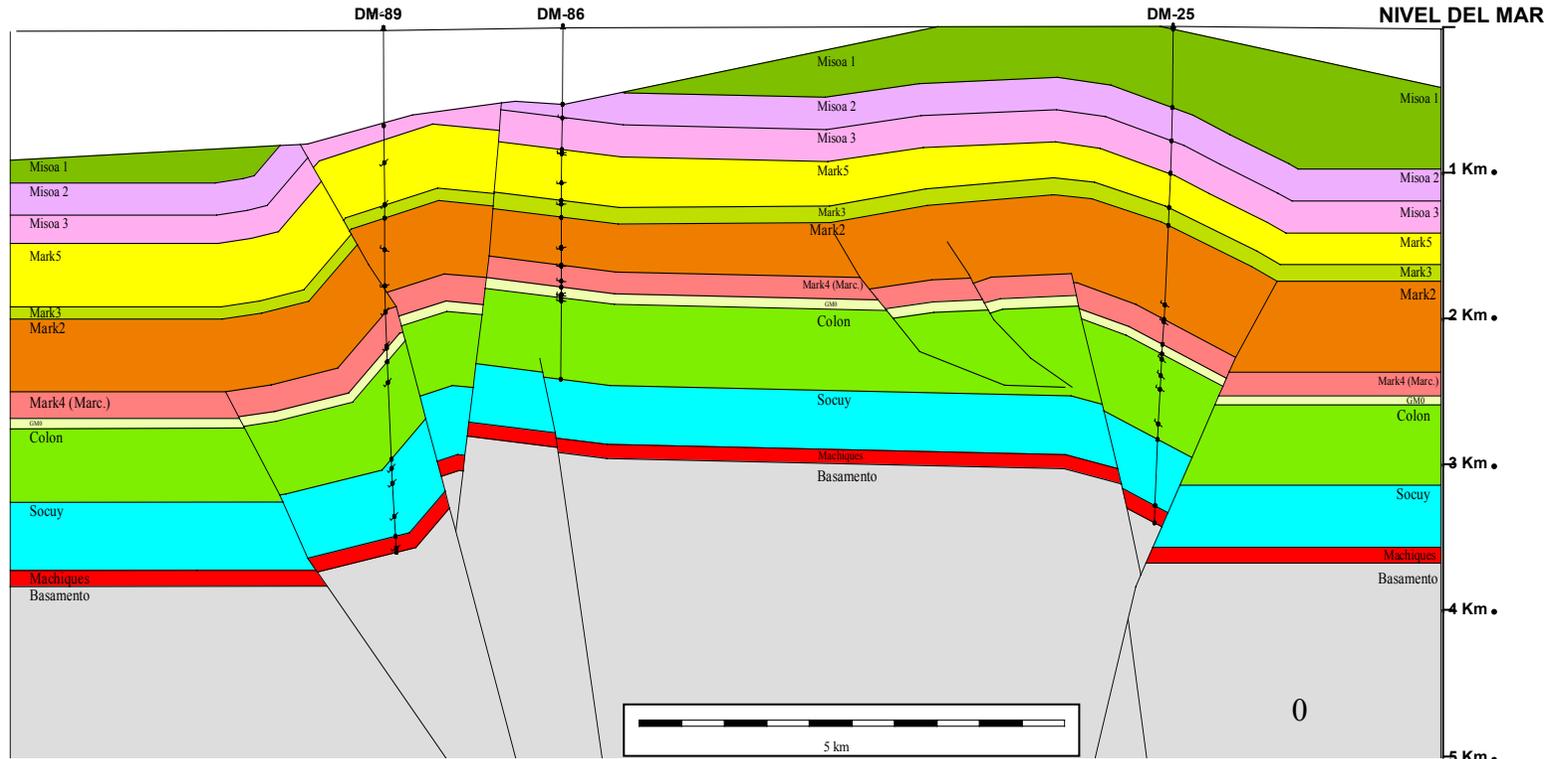
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

"TRABAJO ESPECIAL DE GRADO" (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA"

Sección Sísmica y Balanceada Arb-12 (Anexo 7)

REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES
ELABORADO POR: DELMIRO PRIETO
FECHA: JUNIO 2003
ESCALA HORIZONTAL: 1:50000
U.E TIERRA OESTE

LÍNEA ARBITRARIA 13



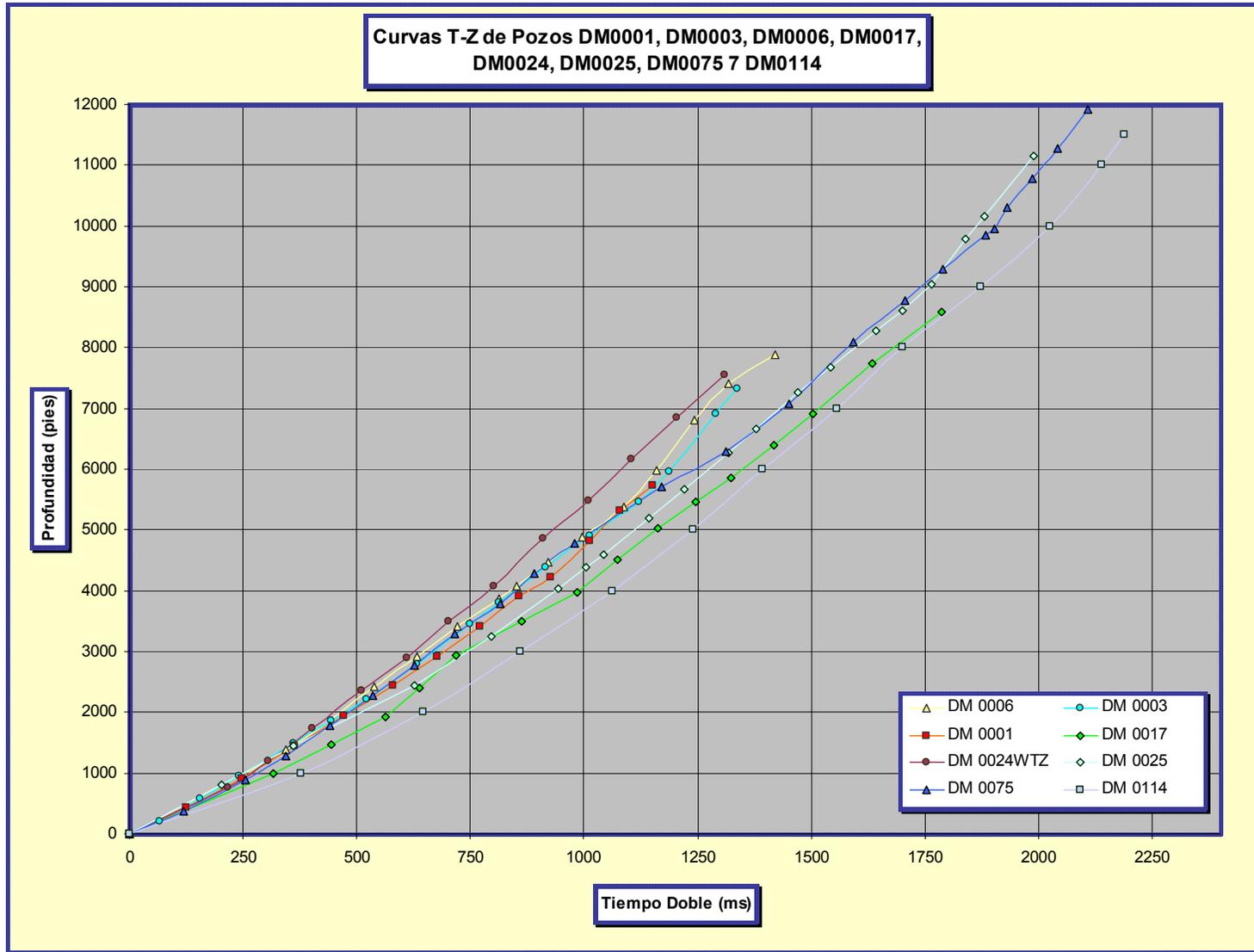
PDVSA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACION DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA"

Sección Sísmica y Balanceo Arb-13 (Anexo 8)

REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES ELABORADO POR: DELMIRO PRIETO FECHA: JUNIO 2003
ESCALA HORIZONTAL: 1:50000 SECCION: U.E TIERRA OESTE

Apéndice 1

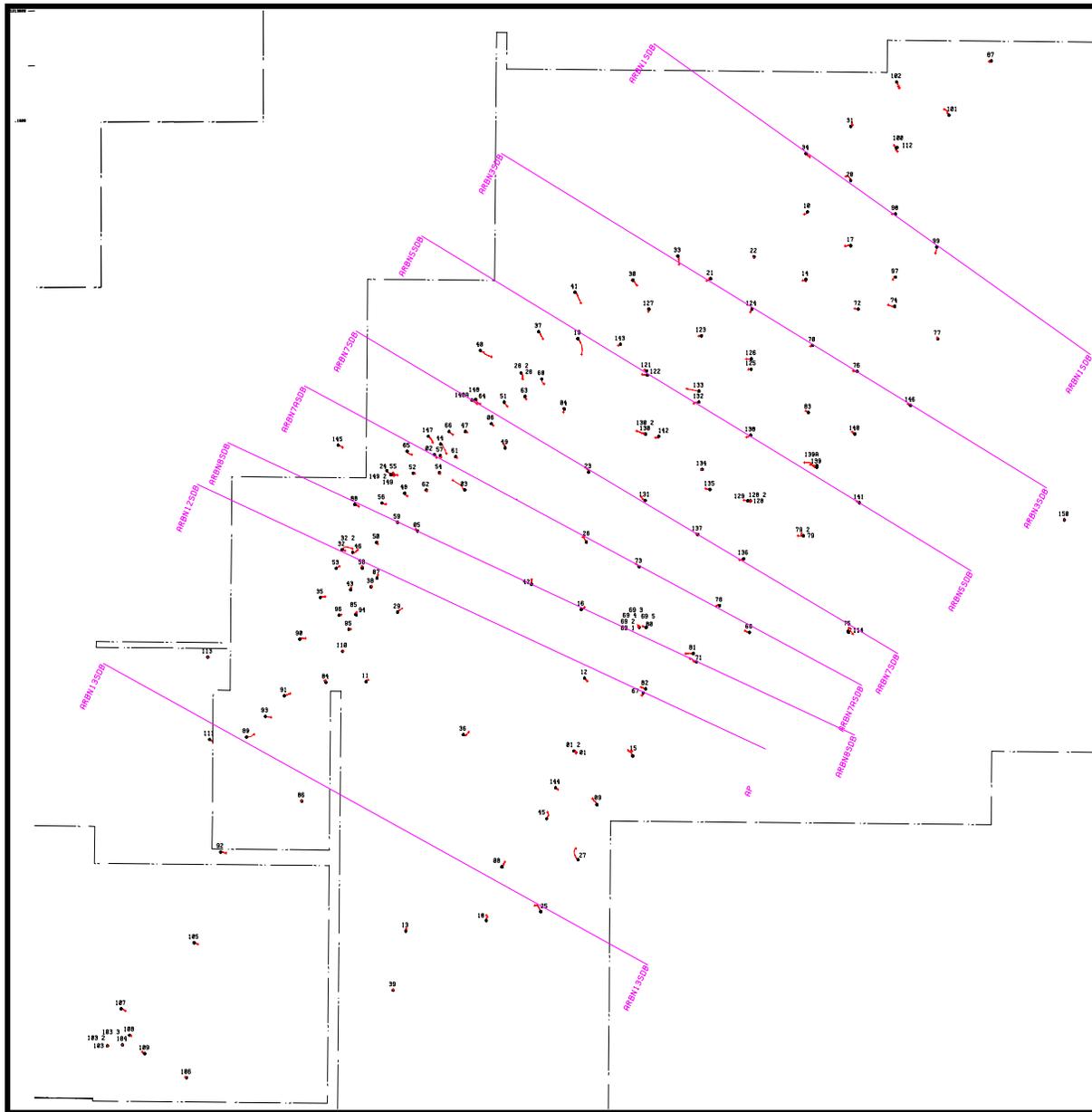


Curva compuesta tiempo - profundidad para pozos con datos de "checkshot"

Apéndice 2-a Líneas Sísmicas Arbitrarias

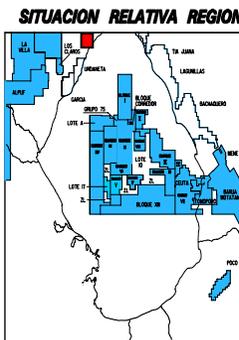
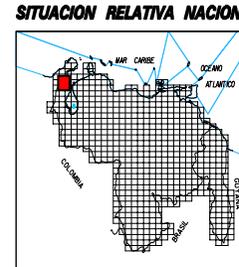
| Línea | X al inicio | Y al inicio | X al final | Y al final | Pozos |
|-----------|-------------|-------------|------------|------------|---|
| ArbN1* | 188218 | 1212892 | 196822 | 1206742 | DM 34-1 DM 20-1 DM 98-1 DM 99-1 |
| ArbN1a | 189511 | 1213305 | 198281 | 1209045 | DM 101-1 DM 102-1 |
| ArbN2 | 185334 | 1210495 | 196123 | 1206044 | DM 22-1 DM 14-1 DM 72-1 DM 77-1 |
| ArbN3* | 185204 | 1210399 | 195956 | 1204312 | DM 33-1 DM 21-1 DM 124-1 DM 70-1 DM 76-1 DM 146-1 |
| ArbN4 | 184251 | 1209791 | 195035 | 1203684 | DM 127-1 DM 123-1 DM 126-1 DM 83-1 DM 140-1 |
| ArbN5* | 183623 | 1208909 | 194467 | 1202799 | DM 19-1 DM 121-1 DM 132-1 DM 138-1 DM 139-1 DM 141-1 |
| ArbN6 | 182343 | 1208327 | 194091 | 1201939 | DM 40-1 DM 28-1 DM 60-1 DM 130-1 DM 134-1 DM 128-1 DM 79-1 |
| ArbN7* | 182337 | 1207166 | 193021 | 1201297 | DM 64-1 DM 23-1 DM 131-1 DM 137-1 DM 136-1 DM 75-1 |
| ArbN7a* | 181321 | 1206172 | 192307 | 1200718 | DM 2-1 DM 61-1 DM 26-1 DM 78-1 DM 114-1 |
| ArbN8* | 179811 | 1205136 | 192168 | 1199812 | DM 88-1 DM 59-1 DM 5-1 DM 42-1 DM 16-1 DM 69-1 DM 73-1 DM 71-1 |
| ArbN9* | 179182 | 1202592 | 188264 | 1197895 | DM 90-1 DM 93-1 DM 11-1 DM 36-1 DM 144-1 DM 9-1 |
| ArbN10 | 179416 | 1203365 | 188795 | 1198379 | DM 35-1 DM 96-1 DM 95-1 DM 1-1 |
| ArbN11 | 178472 | 1201692 | 188677 | 1196755 | DM 113-1 DM 91-1 DM 27-1 |
| ArbN12* | 179201 | 1204382 | 190414 | 1199557 | DM 88-1 DM 32-1 DM 46-1 DM 7-1 DM 12-1 DM 67-1 |
| ArbN13* | 177355 | 1201116 | 188007 | 1195633 | DM 112-1 DM 86-1 DM 25-1 |
| ArbN14 | 176154 | 1198999 | 187451 | 1194760 | DM 92-1 DM 13-1 |
| Arb86_18 | 178010 | 1200565 | 187599 | 1194993 | DM 111-1 DM 86-1 DM 18-1 |
| Arb105_39 | 174902 | 1196987 | 187157 | 1194284 | DM 105-1 DM 39-1 |

* - Líneas estructurales claves



LEYENDA

- MISOA 1
- MISOA 2
- MISOA 3
- MARK 5
- MARK 3
- MARK 2
- MARK 4
- GM 0
- COLON
- SOCUI
- MACHIQUES
- BASAMENTO
- TRAZA DE FALLA





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

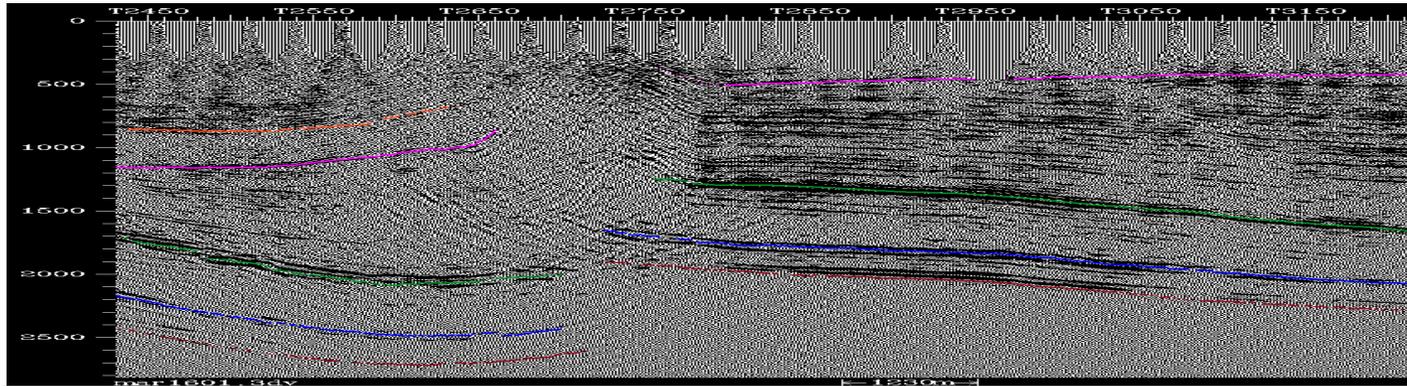
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA"

Selección de líneas Sísmicas

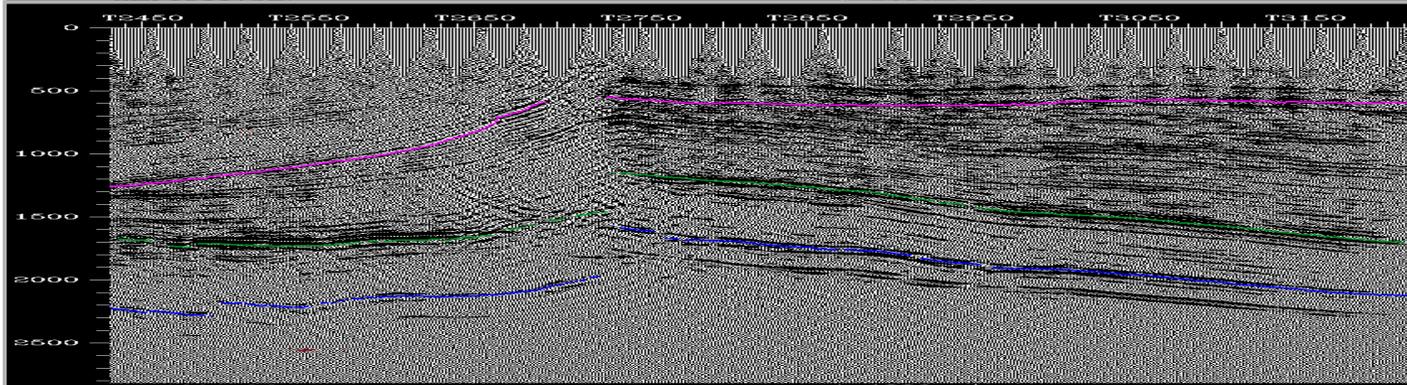
Apéndice 2-b

| | | |
|--|---|-------------------------------------|
| REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES | ELABORADO POR: DELMIRO PRIETO | FECHA: JUNIO 2003 |
| ESCALA HORIZONTAL | 1:50000 | SECCION: U.E TIERRA OESTE |

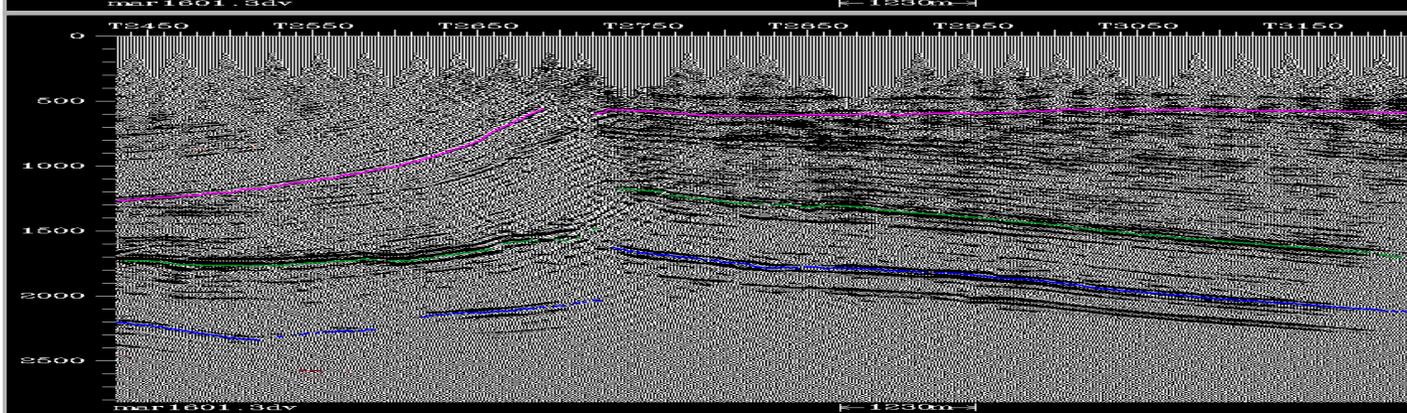
línea 11390



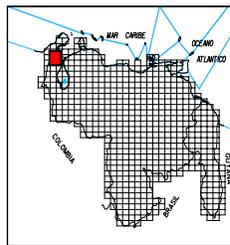
línea 11100



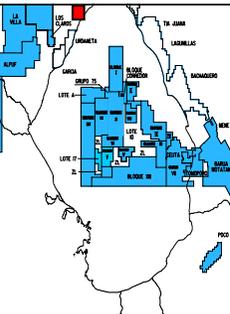
línea 11140



SITUACION RELATIVA NACION



SITUACION RELATIVA REGION



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA

"TRABAJO ESPECIAL DE GRADO" (2003) DELMIRO PRIETO R.
"RECARACTERIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL
CAMPO MARA ESTE CUENCA DE MARACAIBO EDO. ZULIA.

Inversión Estructural. Apéndice 3

| | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| REVISADO POR: ING. ALBENIS BILCHES | ELABORADO POR: DELMIRO PRIETO | FECHA: JUNIO 2003 |
| ESCALA HORIZONTAL 1:50000 | SECCION: I-LA TIERRA OESTE | |