

**INFORME FINAL
PROGRAMA SÍSMICO CHOCO - BUENAVENTURA 2D 2006
SUBCUENCA DEL RÍO SAN JUAN
COLOMBIA**

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE INFORMACIÓN GEOFÍSICA

PRESENTADO POR

G2 SEISMIC

2010

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
LOCALIZACIÓN.....	9
OBJETIVO.....	10
METODOLOGÍA E INFORMACIÓN UTILIZADA.....	10
HISTORIA EXPLORATORIA.....	12
1. INFORMACIÓN UTILIZADA	15
1.1. Geología de superficie y aspectos físicos	15
1.2. Gravimetría	16
1.3. Magnetometría	16
1.4. Geoquímica	19
1.5. Sísmica -Procesamiento sísmico-	19
1.5.1. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-10	19
1.5.2. Registros de campo línea ANH-CH (B) 200- 12.....	19
1.5.3. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-12A	19
1.5.4. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006- 14.....	19
1.5.5. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-03	19
1.5.6. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006- 05.....	19
2.1. Evolución de la Subcuenca San Juan	22
2.2. Geología de la Subcuenca de San Juan	23
2.3. Estratigrafía y facies sedimentarias.....	25
2.3.1. Rocas Cretácicas Barremiano-Paleoceno	25
2.3.2. Formación La Sierra.....	25
2.3.3. Formación Istmina - Grupo San Juan Inferior	25
2.3.4. Formación Conglomerados de la Mojarra.....	26
2.3.5. Formación Condoto.....	26
2.3.6. Formación Mayorquín.....	26
2.3.6. Formación Raposo.....	27

2.3.7. Terrazas Aluviales	27
2.4 Geología estructural.....	29
2.4.1. Expresión Estructural en Superficie	29
2.4.2. Estilo estructural compresivo.....	29
2.4.3. Estilo estructural transpresivo.....	29
2.4.4. Dominios estructurales.....	30
3. INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA DE LOS DATOS.....	33
3.1. Interpretación Geológica de la Información Sísmica	33
3.1.1. Líneas sísmicas migradas en tiempo e interpretación	34
3.1.2. Horizontes Reflectores	37
3.1.2.1. Horizonte A.....	37
3.1.2.2. Horizonte B.....	39
3.1.2.3. Horizonte C.....	40
3.1.2.4. Horizonte D.....	40
3.1.2.5. Horizonte E.	40
3.1.2.6. Horizonte F	40
3.2. Secuencias Sísmicas	41
3.3 Mapas.....	46
3.3.1 Mapa estructural en tiempo sísmico migrado de " Basamento Sísmico"	46
3.3.2. Mapa estructural en tiempo migrado Tope Cretáceo-Paleoceno	47
3.3.3. Mapa estructural en tiempo migrado del Eoceno Medio.....	48
3.3.4. Mapa estructural en tiempo migrado tope de la Formación La Sierra.....	49
3.3.5 Mapa Estructural en tiempo migrado tope de la Formación San Juan.....	50
3.3.6. Mapa Estructural en tiempo migrado base de la Formación Raposo.....	51
Mapa isócrono fundamentado con base en un par de reflexiones de gran amplitud y su distribución se encuentra en la zona principal del sinclinal de La Mojarra y definidas hasta 0.800 segundos, tanto al norte como al sur, y 0.550sg donde está transportado el bloque central por fallas Oeste-Este.	51
Su distribución está dada en la franja Norte-Sur y no se encuentra afectado por las fallas denominadas de La Mojarra, tampoco la falla de cabalgamiento de la cordillera afecta la formación.....	51
3.4.1. Mapa Estructural de Basamento.....	52
3.4.2. Mapa Estructural Cretáceo –Paleoceno.....	54
El mapa estructural en profundidad del Cretáceo-Paleoceno está afectado por los cinco sistemas de fallas: Falla de Piedemonte (1), Fallas del Sistema de La Mojarra (2), Fallas	

transversales de Málaga (3), de San Juan (4) y finalmente de las fallas de rumbo o de transpresión del Pacífico que ponen en contacto diapiros al occidente con sedimentos del oriente formando las megaestructuras de Nóvita y la Mojarra-Buenaventura, Anticlinal y Sinclinal respectivamente. 54

3.4.4. Mapa Estructural tope de la Formación La Sierra..... 55

Figura 28. Mapa estructural de la formación La Sierra. IC: 200pies..... 56

3.4.5. Mapa Estructural tope del Grupo San Juan 56

3.4.6. Mapa Estructural Base Formación Raposo 57

SECCIONES PRE-STACK DEPTH MIGRATION -PSDM-..... 59

Sección ANH-CH(B)-2006-03 PSDM..... 59

Sección ANH-CH(B)-2006-05 PSDM 60

Sección ANH-CH(B)-2006-10 PSDM 61

Sección ANH-CH(B)-2006-12 PSDM 62

Sección ANH-CH(B)-2006-12A PSDM 63

Sección ANH-CH(B)-2006-14 PSDM 64

4. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO..... 65

4.1. Roca generadora 65

4.2. Generación y migración 66

4.3. Rocas Almacenadoras 67

4.4. Rocas Sello..... 67

4.5. Sincronismo..... 67

5. AREAS DE INTERÉS EXPLORATORIO 69

6. CONCLUSIONES 71

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización geográfica del área de estudio en Suramérica
- Figura 2. Mapa Geológico de Colombia mostrando el área de estudio
- Figura 3. Mapa Geológico de la Subcuenca San Juan con las líneas sísmicas
- Figura 3A. Mapa Geológico modelo de estructura en la perforación de Tambora-1
- Figura 4. Formaciones que afloran en el área de estudio
- Figura 5. Perfil Gravimétrico de la Línea ANH-CH (B) 2006- 12
- Figura 6. Perfil Gravimétrico de la Línea ANH-CH (B) 2006 – 03
- Figura 7. Columna estratigráfica de la Subcuenca San Juan
- Figura 8. Esquema estructural de la Cuenca Chocó
- Figura 9. Sección Sísmica ANH-CH (B) 2006-12
- Figura 10. Sección Sísmica ANH-CH (B) 2006-03
- Figura 11. Sección ANH-CH (B) 2006-03 Horizontes mapeados
- Figura 12. Serie sedimentaria y horizontes mapeados
- Figura 13. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 03 migrada en tiempo
- Figura 14. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 12 migrada en tiempo
- Figura 15. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 14 migrada en tiempo
- Figura 16. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 10 migrada en tiempo
- Figura 17. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 12A migrada en tiempo
- Figura 18. Sección Sísmica ANH CH (B) 2006 05 migrada en tiempo
- Figura 19. Mapa Estructural de basamento TWT
- Figura 20. Mapa Estructural Tope Cretáceo Paleoceno TWT

- Figura 21. Mapa Estructural de Eoceno Medio TWT
- Figura 22. Mapa Estructural tope de La Sierra TWT
- Figura 23. Mapa Estructural tope del grupo San Juan TWT
- Figura 24. Mapa Estructural tope de Formación Raposo.
- Figura 25. Mapa Estructural de Basamento.
- Figura 26. Mapa Estructural tope Cretáceo – Paleoceno
- Figura 27. Mapa Estructural Eoceno Medio
- Figura 28. Mapa Estructural Tope de la Formación la Sierra
- Figura 29. Mapa Estructural tope de la Formación San Juan
- Figura 30. Mapa estructural Base de la Formación Raposo
- Figura 31. Rezumadero de Santa Rita
- Figura 32. Perfil sísmico con áreas de interés

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Secuencia de procesamiento

Tabla 2. Pozos perforados en la cuenca

Tabla 3. Tabla de velocidades y profundidades

CUADROS

Cuadro 1. Nomenclatura estratigráfica

RESUMEN EJECUTIVO

Durante el desarrollo del proyecto se llevó a cabo un estudio interdisciplinario enfocado a evaluar el potencial de hidrocarburos en la Cuenca Chocó, Sub-cuenca San Juan, Departamentos del Valle del Cauca y Chocó, involucrando las disciplinas de geofísica, geología y geoquímica.

Los resultados destacables del presente estudio tienen su origen en la integración de todas estas disciplinas, lo cual nos ha permitido establecer un panorama actualizado de la historia geológica de la Sub-cuenca San Juan que ha llevado a un mejor entendimiento de los eventos geológicos que han influido en la generación, migración, acumulación y preservación de hidrocarburos. Fallamientos inversos, fallas de transpresión y un potencial entrapamiento por yuxtaposición de litologías identifican en el subsuelo un potencial hidrocarburoífero que genera expectativas para explorar en la Sub-cuenca.

La mayoría de los pozos perforados en la cuenca muestran que no existe buena continuidad lateral de los reservorios clásticos, además ha existido la incertidumbre en la orientación de los esfuerzos tectónicos con los probables entrapamientos, esto hace que su probabilidad de éxito haya sido relativamente baja. El adecuado entendimiento de los factores de riesgo como la distribución de la relación arena/arcilla y la identificación de la orientación de los principales esfuerzos, es primordial para obtener oportunidades exploratorias.

La Cuenca Chocó ha sido explorada para hidrocarburos en los últimos sesenta años. Los trece pozos que han sido perforados en el área sin éxitos comerciales, indicios de hidrocarburos en uno de ellos y rezumaderos, invitan a desarrollar programas exploratorios. Uno de los mayores riesgos e incertidumbres asociados a la evaluación de oportunidades exploratorias en la Subcuenca San Juan es la continuidad y calidad de la roca reservorio clástica. Una de las razones por la que no se hayan descubierto cantidades comerciales de hidrocarburos en la cuenca está en que muy pocas trampas de la Cuenca Chocó han sido perforadas.

El sincronismo relativo entre la generación de aceite y principalmente gas y la formación de trampas es otro factor trascendental. Las estructuras formadas durante el Plioceno y el reciente tienen pocas posibilidades de contener hidrocarburos por haber sido posteriores o sincrónicas a la generación de petróleo y gas y las que han sido llenadas son destruidas por la tectónica continua que origina las fallas de transpresión que son los puntos de fuga para los hidrocarburos entrapados. Las estructuras formadas durante el pre-Eoceno y el Mioceno pueden haber sido cargadas durante el Mioceno Tardío y son interesantes para perforar en zonas fracturadas de las rocas carbonatadas distales de las fallas de rumbo y/o transpresionales.

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se halla consignada la interpretación geológica de la información geofísica de la Subcuenca San Juan en la Cuenca Chocó, desde la costa pacífica colombiana hasta el flanco occidental de la Cordillera Occidental, en la franja que se encuentra el registro del Programa Sísmico Chocó-Buenaventura 2D 2006, paralela a la costa. La franja estudiada fue cubierta con una longitud de 350 Km de perfil sísmico, los cuales fueron registrados por la compañía G2 SEISMIC LTD., y la información adquirida fue procesada por la empresa PETROSEIS LTDA.

Dentro de la superposición estratigráfica en la sub-cuenca están incluidas en la serie sedimentaria rocas del Cretáceo Superior, Paleoceno y las tres secuencias del Paleógeno y Neógeno, constituidas por miembros arenoso-arcillosos y carbonatados que corresponden a capas poco consolidadas. Las diferentes estructuras de interés son evaluadas cualitativamente y se procedió a definir los diferentes factores que las califican, presentándolas y relacionándolas en el informe, Capítulo 4. Geología del Petróleo.

Por ser ésta cuenca una de las menos exploradas del país, donde solo se han perforado trece pozos en sesenta años, se le define como cuenca frontera con posibilidades de exploración y explotación gasífera, principalmente.

LOCALIZACIÓN

El área, aproximadamente de 8.000 Km² que contiene el Programa Sísmico Chocó-Buenaventura 2D 2006, se halla ubicada en el Noroeste de Suramérica, Suroccidente de Colombia, entre la parte norte del Departamento del Valle del Cauca y el sur del Departamento de Chocó, al oriente de la costa pacífica colombiana, en el Valle del Río San Juan. Figuras 1 y 2



Figura 1. Localización geográfica

- Se realizó la interpretación de las secciones sísmicas registradas en el programa sísmico Chocó Buenaventura 2D 2006 unida a la definición de zonas de discordancias, de eventos tectónicos, de características sísmicas como familias de amplitudes, cambios laterales en la respuesta sísmica, las cuales reflejan cambios en la estratigrafía y adicionalmente cambios en la morfología del perfil topográfico, lo que ha implicado cambios en la morfología del área.
- Elaboración de mapas estructurales en tiempo, escala 1:100.000 de los horizontes sísmicos identificados como topos formacionales y/o topos de secuencias sísmicas.
- Elaboración de la función de velocidad para el área con base en cálculos de las velocidades de intervalo de las secuencias y formaciones para convertir la Información de los datos sísmicos en profundidad de los eventos geológico.
- Elaboración de mapas estructurales en profundidad de topos formacionales o de secuencias sísmicas con base en velocidades de apilamiento, y de migración en escala 1:100.000.

El modelo geológico del subsuelo se obtuvo con base en la integración de información gravimétrica, magnetométrica y sísmica; esencialmente obtenida, dentro del programa Chocó Buenaventura 2D 2006, (ver Figura 3) para el cual se asumieron profundidades de acuerdo con los pozos perforados en la cuenca –ya que en la zona de registro no se han perforado pozos- y se hicieron curvas de velocidades para las diferentes rocas presentes en el área, con lo cual se obtuvo una máxima profundidad de la serie estratigráfica.

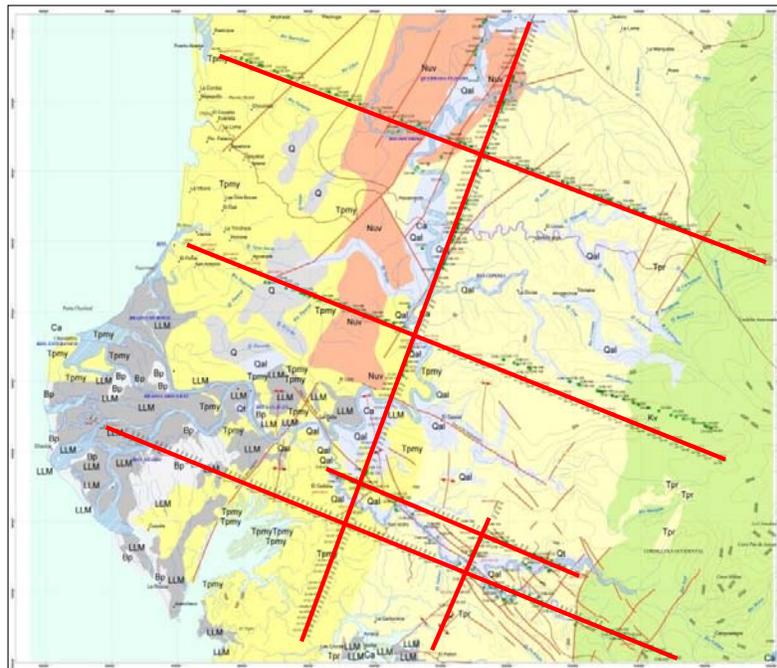


Figura 3. Esquema geológico de la Sub cuenca San Juan con las líneas sísmicas.

La buena resolución de la información en los perfiles sísmicos del sur, en los datos de procesamiento y sus velocidades de intervalo, permitió deducir la profundidad de la cuenca.

Se realizó la interpretación de las líneas sísmicas 2D en tiempo, y las secciones sísmicas migradas en tiempo postapilamiento. Se cotejó la información de las secciones migradas con pre-apilamiento en tiempo (PSTM) y las secciones migradas en profundidad antes del apilamiento (PSDM)

La información de los *check shots* de los pozos perforados en la cuenca definió la profundidad de la cuenca por sus velocidades de intervalo en las formaciones con lo cual se elaboraron los mapas correspondientes.

Para la información de profundidad se trabajó con cinco de los trece pozos perforados en la cuenca: Buchadó-1, Urodó-1, Sandi-1, Tambora-1 y Remolino Grande-1, se utilizó la cartografía geológica del INGEOMINAS y la cartografía realizada por el grupo de geólogos de HGA, quienes también realizaron la integración de la información para el presente estudio, de éste modo se compilaron los datos y se definieron las velocidades de las secuencias y las formaciones.

El Programa Sísmico San Juan 1981 (SJ-81) registrado por ECOPETROL fue adquirido al norte del área y éste programa Chocó Buenaventura 2D 2006, se registró al sur de dicho programa, con lo cual el programa SJ-81 sirvió de referencia para la interpretación de los datos sísmicos del programa objeto del presente trabajo sin integrarlo porque solo se tienen imágenes y su localización dentro del recién registrado programa es de un 30%.

HISTORIA EXPLORATORIA

En la cuenca Chocó las investigaciones geológicas, geofísicas y actividades exploratorias dirigidas a la búsqueda de hidrocarburos se señalan a continuación:

En el año 1953 se inicia con el pozo Buchadó-1 por parte de la compañía RICHMOND a una profundidad total de 15.539 pies y relacionaron muestras de hidrocarburos desde 3.500 hasta los 9.000 pies. Fue el primer paso con taladro para la exploración de petróleo en el occidente del país. En 1955, la unión SOCOMY-MOBIL perforó el pozo Chagüí-1 a 13.107 pies, se reportaron muestras de asfalto.

En 1967, la empresa ESSO COLOMBIANA perforó el pozo Sandi-1 a una profundidad de 12.162 pies.

La misma compañía ESSO perforó el pozo Tambora-1 –costa afuera- al final del mismo año a 11.365 pies (figura 3A).

La compañía SUPERIOR perforó el pozo Urodó-1 y la compañía CONTINENTAL perforó Opogadó-1 a 15.000 y 11.372 pies respectivamente en 1973.

En 1980, ARCO perforó el pozo Remolino Grande-1 al sur del área de estudio a una profundidad de 9.082 pies y reportaron muestras de hidrocarburos en areniscas basales.

WAINOCO perforó el pozo Majagua-1 en 1981 con muestras de hidrocarburos en la parte inferior de su columna perforada y su profundidad total fue de 14.287 pies.

ECOPETROL registró un programa sísmico de detalle en el norte de la cuenca y perforó el pozo Chigorodó-1 en 1982 a 11.750 pies de profundidad, con manifestaciones de hidrocarburos en las areniscas basales.

La compañía ASAMERA perforó dos pozos en 1983, Nécora-1 y Pacurita-1 a 6.503 y 9.489 pies de profundidad y se reportaron muestras de hidrocarburos en ambos pozos.

En la Cuenca del río San Juan, se relaciona una información cartográfica de la compañía TEXACO, con muestras recolectadas por geólogos de esa compañía, a finales de 1970.

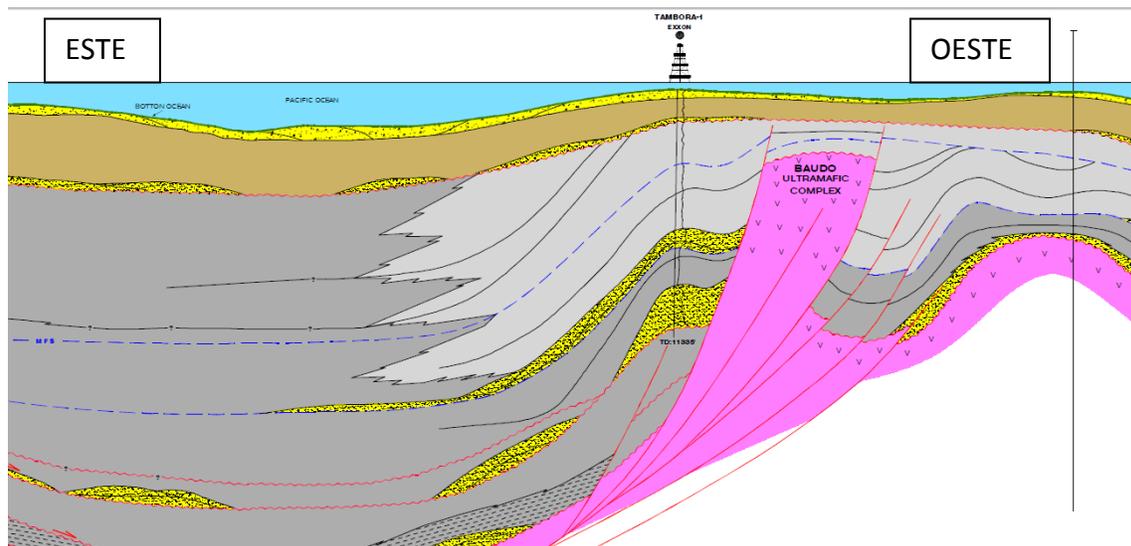


Figura 3A. Modelo de estructura en la perforación de Tambora-1. (Tomado de Estudio ECOPETROL-BRASPETRO, 2001).

Muestras de superficie analizadas y cartografía de detalle, fueron cedidas por INGEOMINAS - Bogotá y muestras colectadas en una campaña de campo realizada en 1999 para la Gerencia de Estudios Regionales de ECOPETROL, muestran detalles de rezumaderos en el área de los ríos San Juan e Iró. Algunas de estas manifestaciones en superficie fueron reportadas por DUNIA en el año 2005.

Análisis de muestras a cargo del Dr. Hermann Duque y la identificación de foraminíferos en la subcuenca establecieron la edad de las formaciones presentes. La identificación de especies, la determinación de edad y el ambiente de depositación fueron confirmadas por estudios de Duque (1990) en el Chocó.

Duque (1990) trabajó y reportó en la cuenca la presencia del Cretáceo Tardío en el Arco de Dabeiba, se determinó con base en la presencia de *Rugo globigerina* spp, *Hedbergella* spp, *Rzehakina epigona* y los radiolarios *D. Torquata*

Sedimentos durante el Paleoceno fueron depositados principalmente en ambientes batiales, por la presencia de foraminíferos aglutinados y radiolarios, (Muñoz & Cogollo, 2.000).

Estudios de eventos y cambios paleoceanográficos ocurridos por el cierre del Istmo de Panamá, fueron eventos reconocidos por Ibaraki (1997) y (Muñoz & Cogollo, 2.000).

En la Cuenca Tumaco, el Pozo Sandi -1, perforado costa afuera, reporta el recobro de nanoplancton en calizas asignadas al Eoceno Temprano. En el mismo pozo muestras analizadas se registraron como Paleoceno-Eoceno Medio, con base en presencia de foraminíferos y nanoplancton. (Robertson Research, 1988).

En la cuenca mediante análisis palinológicos (TEXACO, 1990) se dataron unas rocas a las cuales se les asignó edad Eoceno Medio - Eoceno Tardío depositadas según el análisis, en un ambiente salobre.

Robertson Research (1988) mediante estudios de nanoplancton en muestras del Pozo Buchadó - 1, corrobora la existencia del Eoceno Medio al reconocer especies características de esa edad a 9.500 pies.

El Oligoceno en la Cuenca Tumaco ha sido reconocido en el Pozo Remolino Grande-1 por Robertson Research (1981), con base en nanofósiles y foraminíferos y reconoce las zonas correspondientes al Oligoceno Temprano hasta Oligoceno Tardío. También fueron reconocidas por Shell (1999) con base en análisis de foraminíferos que determina que el intervalo de 3950'-5650' corresponde al Oligoceno Tardío.

En la Cuenca Tumaco los Pozos Majagua-1, Remolino Grande-1, Sandi-1 y Tambora-1, todos perforaron rocas Miocenas, Robertson Research (1981. 1988)

En la subcuenca, Duque propone cuatro inconformidades: Una registrada en el límite del Eoceno Medio, una segunda al final del Oligoceno, una tercera la ubica dentro de la inconformidad que correspondería en la ausencia entre Mioceno Temprano - Mioceno Medio -a la base de los conglomerados de la Mojarra- y la cuarta a la inconformidad que correspondería con el faltante de las zonas que se localizan en el límite Plioceno Temprano - Plioceno Medio.

Es importante resaltar aquí los siguientes estudios de diferentes autores y empresas en la cuenca, en las disciplinas de estratigrafía, geología estructural, geoquímica, petrofísica y geofísica: Oppenheim (1949), Barrero (1977), Pérez (1980), García et al.(1982), Etayo (1983), (1986), Dengo (1983), Toussant & Restrepo (1988), Compañía petrolera Latina (1988), ECOPETROL (1990), Figueroa & Nuñez (1990), Suárez (1990), Buzar (1993), Repsol (1996), Escobar & Escalante de Petrobras y Ecopetrol (2001), Dunia (2005) y la ANH, INGEOMINAS y el ICP en los últimos cinco años.

1. INFORMACIÓN UTILIZADA

1.1. Geología de superficie y aspectos físicos

En la subcuenca del Rio San Juan geológicamente afloran rocas recientes de las Formaciones Condoto, Raposo y Mayorquín, formando megaestructuras con buzamientos que no alcanzan los diez grados, se resalta la litología en los afloramientos de la Formación Condoto descrita por los geólogos del grupo como de naturaleza carbonatada. -Ver Figura 4.-.

Geográficamente al sur del departamento del Chocó y norte del Valle del Cauca se distinguen dos grandes regiones: Las tierras planas que conforman los valles de los ríos San Juan e Iró, que cubren cerca del 90% de la superficie total y al este y noreste las montañas y morfología abrupta que constituyen las estribaciones de la cordillera Occidental.

Cerca al cauce del rio San Juan y en el área en donde está circunscrita el Programa Sísmico Chocó Buenaventura 2D 2006, las tierras son bajas y anegadizas, se desarrollan numerosas ciénagas, siendo la más importante la de Málaga donde está la confluencia de los diferentes ríos del área y es la desembocadura del rio San Juan en el océano Pacífico.

Topográficamente el área presenta algunas ondulaciones en el terreno con alturas entre 50 y 200 metros sobre el nivel del mar. Existe variación en el tipo de vegetación siendo típica la tropical húmeda con algunas cultivos aislados de los pobladores.

EDAD		FORMACIÓN	ESPESOR	LITOLOGÍA DESCRIPCIÓN	RESERVORIO POTENCIAL	SELLO	ROCA FUENTE	SOBRECARGA
SUPERIOR	PLIOCENO	CONDOTO	4430'	Alternancia de conglomerados, arena y lodolita. Hay mas cantidad de conglomerados en la parte superior. Compuestos de arenitas friables de grano fino a medio y algo arcillosas. Conglomerados duros resistentes a la erosión posibles paquetes de 15m.				
	PLIO-PLIESTOCENO	RAPOSO MAYORQUIN	4130'	Intercalaciones arenas/conglomerados /arcillolita y limolitas				
		HOLEOCENO TERRAZAS ALUVIALES	637'	Gravas, arenas no consolidadas				
			HIATO					

Figura 4. Formaciones que afloran en el área de estudio (Tomado HGA, 2010)

1.2. Gravimetría

En la Línea ANH-CH (B)-2006-12 se evidencia la parte más profunda del sinclinal presente en el área de estudio, los paquetes sedimentarios se adelgazan hacia los flancos este y oeste, el espesor del Cretácico varía entre 400 y 1200 metros. Igualmente se determina la presencia de fallas de tipo inverso que favorecerían la formación de trampas de hidrocarburos, como también las fallas que originan el levantamiento de la Cordillera Occidental.

En la Línea ANH-CH(B)-2006-03 el espesor es constante a lo largo del rumbo de las estructuras y se evidencia el efecto inverso de la Falla Calima entre las líneas ANH-CH(B)-2006-12A y ANH-CH(B)-2006-14. El espesor del Cretácico varía entre 800-1200 metros. La profundidad máxima detectada al tope del basamento es de 2700 – 3950 metros, y su densidad de modelamiento es cercano a 2.9 gr/cc. –Ver figuras 5 y 6-.

1.3. Magnetometría

La interpretación obtenida de los datos de campo correspondiente a la zona de estudio, muestra una cuenca regional cuyo máximo espesor bordea el oeste de la cordillera occidental, las estructuras en general están orientadas con dirección predominante Norte-Sur y Suroeste-Noreste. Sin embargo presenta algunos rasgos tectónicos transversales que separan el macropliegue –Sinclinal de La Mojarrá- a nivel regional por una estructura anticlinal –denominada aquí Anticlinal de Nóvita- que inicialmente tiene dirección N – S al occidente y paralelo del mismo sinclinal y hacia el sur lo atraviesa con dirección oeste-este.

El basamento magnético denominado geológicamente basamento económico fue acrecionado -en conjunto- con rocas que son del Cretáceo Tardío-Paleoceno, evento que ocurrió durante el Eoceno Medio y su levantamiento se observa en el centro del área donde afecta y delimita la serie sedimentaria terciaria en los bordes -del alto magnético- ya que se deposita sobre ésta superficie paleo-topográfica de relieve variable y obedece ese relieve importante al núcleo de esa estructura con rocas que forman el Anticlinal de Nóvita, pero allí con espesores menores en la cuenca.

Las formaciones con menor espesor o no depositadas en la zona levantada, tienen su máximo espesor al depositarse a mayor distancia de estos altos de basamento (anomalías magnéticas bajas a moderadas). Bajo el punto de vista de las estructuras se muestra el basamento magnético y sobre él se encuentran rocas carbonatadas y sobre éstas, rocas sellos de espesores delgados con perspectivas exploratorias y comprende un sector de cierta complejidad estructural (sección CH 2006 03).

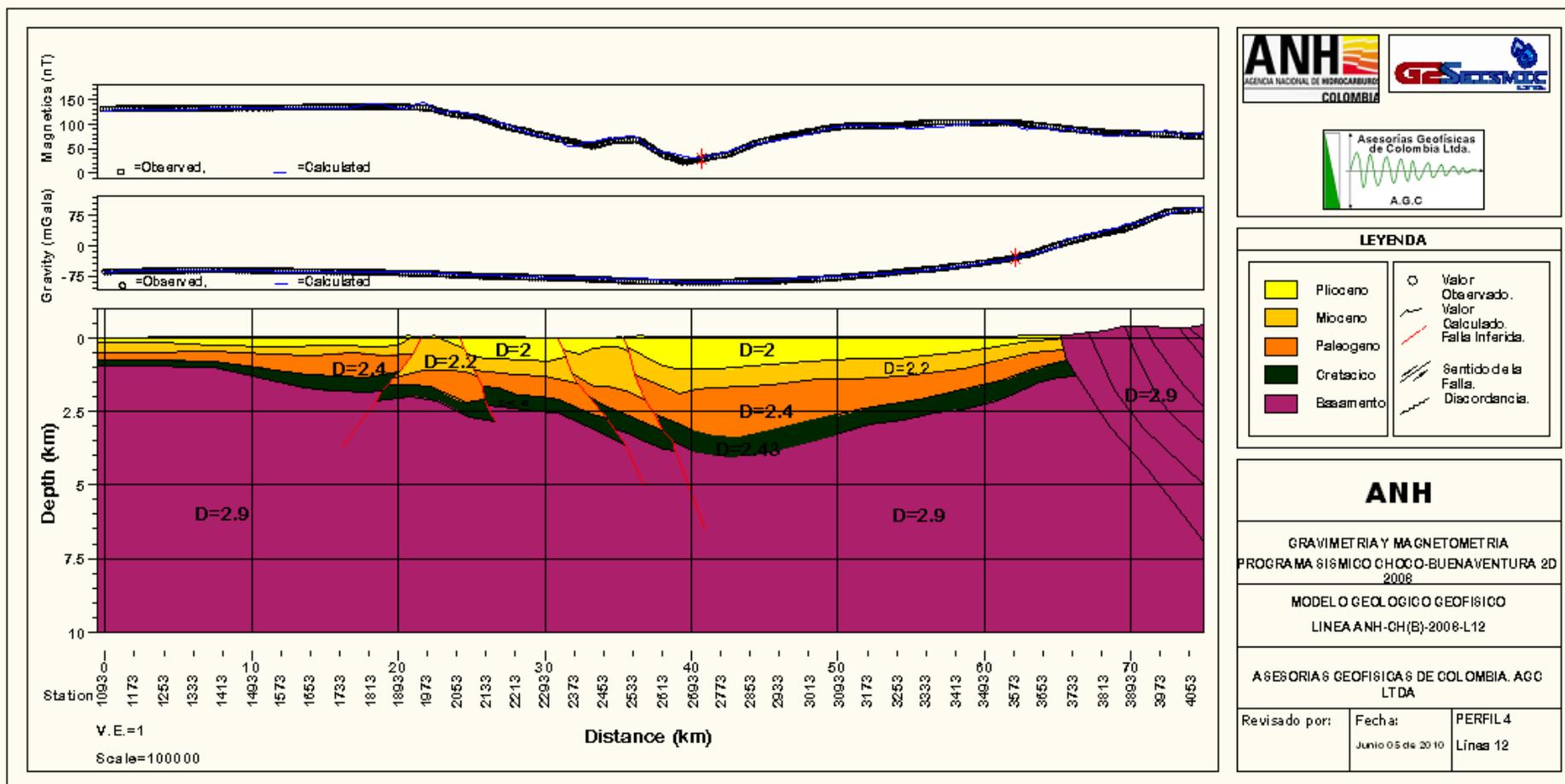


Figura 5. Perfil Gravimétrico de la línea ANH-CH(B)-2006-12

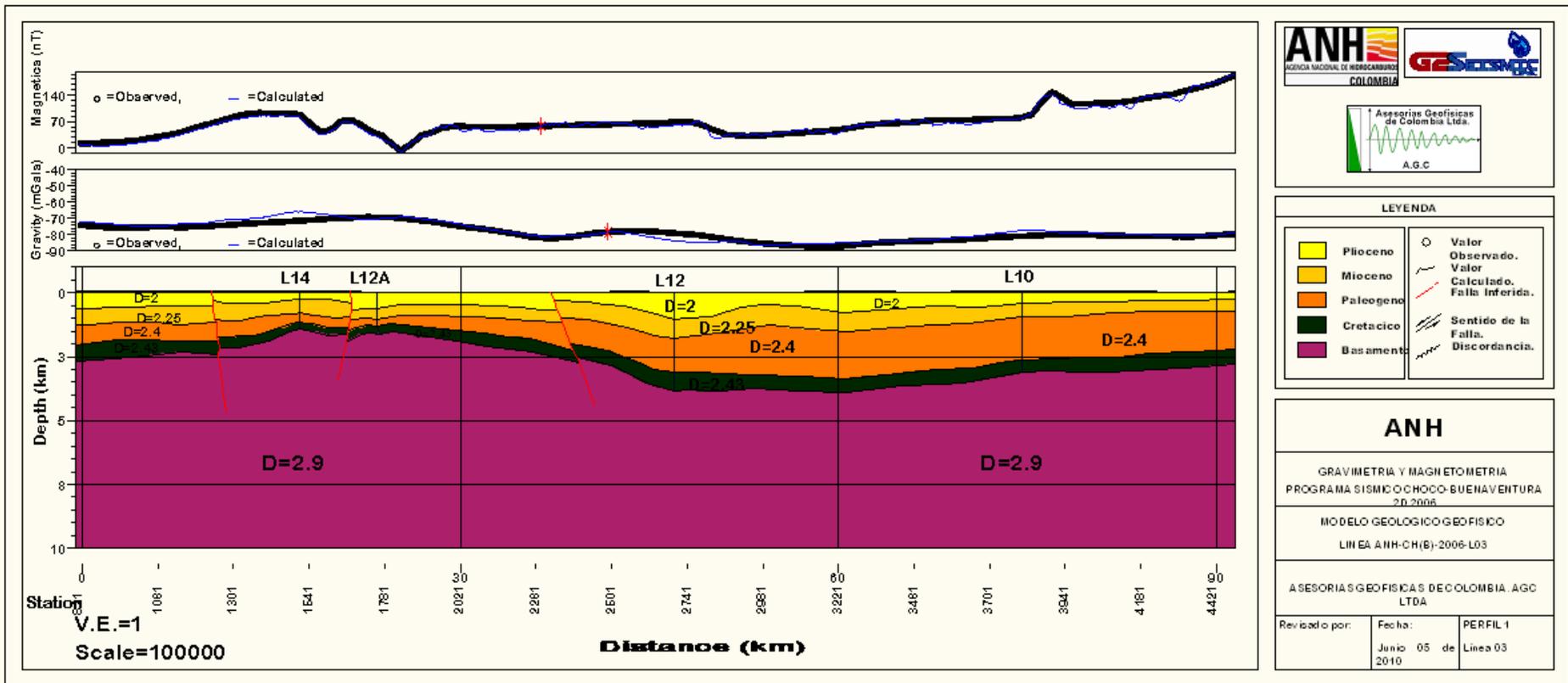


Figura 6. Modelo gravimétrico línea ANH-CH (B)-2006-03

1.4. Geoquímica

Información obtenida de los datos de campo y procesados por la empresa HGA del grupo integrado concluyen:

1. Las anomalías muestran – según Bernard - que el origen de los hidrocarburos presente es diagenético y termogénico.
2. Según relaciones de humectabilidad en el área la mayor parte de los datos son de hidrocarburo condensado.
3. De acuerdo a la integración de los resultados geoquímicos con la geología de superficie y los perfiles sísmicos interpretados, la presencia de anomalías se atribuyen a escapes de gas a través de las fallas presentes a lo largo de las líneas sísmicas.

1.5. Sísmica -Procesamiento sísmico-

Secuencia del Procesamiento de los datos sísmicos

La secuencia de procesamiento se realizó con base en los requerimientos por parte de la ANH y G2-Seismic. (ver Tabla 1).

1.5.1. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-10

1.5.2. Registros de campo línea ANH-CH (B) 200- 12

1.5.3. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-12A

1.5.4. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006- 14

1.5.5. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006-03

1.5.6. Registros de campo línea ANH-CH (B) 2006- 05

La evaluación preliminar de la calidad de los registros de campo se llevó a cabo con base en el control visual de los registros en el monitor, directamente después de su introducción al sistema de procesamiento. (Figuras 13 a 18).

En el proceso de control de calidad de los registros de campo se enumeran una serie de situaciones de tipo técnico sucedidos en el momento de realizar el registro. Con estos se relacionan, en primer lugar:

- 1.- Elevado nivel de ondas de ruido superficiales y de velocidad media. Esto probablemente se registró al mismo tiempo con precipitaciones en el área. Refleja ruidos en las trazas por arriba de la capilla de información.
2. - Elevado nivel de ruidos aleatorios -random noise- en los canales independientes.
- 3.- Elevación exagerada de la amplitud en los canales cercanos al punto de disparo, en comparación con los canales más distantes en los sismogramas al punto común de disparo.
- 4.- En las trazas medias y alejadas se notan ruidos de velocidad media relacionados, supuestamente cambios de ondas con velocidades altas probablemente de la zona de basamento. La alta intensidad de las ondas de ruido indicadas se relaciona, probablemente, con el no agrupamiento de los geófonos.

La gran parte de los ruidos descubiertos se eliminó en la etapa de procesamiento básico y no se tuvo en cuenta como factor de disminución de la calidad de los trabajos de campo.

En la etapa de selección de los registros de campo fueron excluidos no más del 3% de la cantidad general de canales.

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Regionalmente ésta zona es denominada como “El Bloque Chocó” por Duque Caro (1990), y llamado textualmente, “terreno exótico acrecionado del flanco oeste de la Cordillera Occidental”. Es claro en definírsele como rocas de basamento oceánico en levantamiento tectónico al oeste de la Cordillera Occidental durante el Mioceno.

La Cuenca Chocó, Subcuenca San Juan, cuya depositación de sedimentos y rocas de origen químico-orgánico y evolución tectónica corresponde a los eventos del Paleógeno superior, pero principalmente del Neógeno.

Los sedimentos asumidos como Cretácico Superior-Paleógeno fueron afectados parcialmente por subducción o emplazados tectónicamente en bloques complejos dentro de la cuenca.

Durante el intervalo Paleoceno superior - Eoceno medio, se produjo un movimiento orogénico que dio lugar a la Cordillera Occidental y se registra mediante una discordancia regional, tal como se observa en el horizonte naranja de la línea ANH-CHOCO-2006-03 (ver figura 10), sobre el cual se depositaron sedimentos al occidente del levantamiento con la profundización de la cuenca en lo que es hoy Buenaventura - Bahía Málaga-Salsipuedes, semiparalela a la línea de costa actual.

La época del Cretáceo Superior y el Paleoceno se caracterizó, además, por intenso vulcanismo a lo largo de la Cordillera Occidental. Dicho vulcanismo continuó con una intensidad notoria, pero reducida hacia la Cordillera Central y al nudo de los pastos, al oriente distal de la zona de estudio.

La sedimentación post discordancia - Eoceno medio y tardío - es continua y turbidítica, mientras que el Cretáceo tardío y Paleoceno tuvo crecimientos arrecifales adscritos a altos paleogeográficos y escasos sedimentos marginales de plataforma.

Durante el Mioceno medio a superior se produjo otro movimiento orogénico asociado a los eventos iniciales o preliminares de la Orogenia Andina. Como resultado se produjo un marcado cambio en el ambiente de depositación, con características de plataforma predominantemente y abundantes desarrollos conglomeráticos contra la Cordillera Occidental, identificados aquí por la Formación La Mojarra.

Durante éste movimiento, la Cordillera Occidental sufrió un intenso levantamiento que separó morfológicamente la Cordillera Occidental con la zona ondulada y plegada de la subcuenca propiamente dicha. Separación determinante por los altos desplazamientos de fallas inversas que tienen su trazado en el piedemonte cordillerano, limitando su aporte de oriente con sedimentos pelíticos y de origen poco clástico sobre la zona de estudio y en general en toda la subcuenca del Río San Juan.

Se ha planteado regionalmente en toda la Cuenca Chocó que el Cretáceo superior y Cenozoico inferior fue pelágica a turbidítica y a partir del Eoceno medio se desarrolló una cuenca intermedia con sedimentación típica de turbiditas proximales y abanicos submarinos. Como resultado de la migración diferencial de la placa oceánica y por acción del “Ridge de Buenaventura” que establece una acción de cuña contra la

Cordillera Occidental, la Cuenca Pacífica se presenta arqueada hacia el continente. (García & Prince, 1982)

Zonas de compresión en el área están representadas por cinturones de diapirismo que delimitan cronológicamente la actividad de las mismas como se observa en el sector occidental de la línea ANH-CH-12-2006 (Figura 9.).

Se reconoce un marcado magmatismo de edad Eoceno en el oriente del área, que bordea la Cordillera Occidental, desde Panamá hasta el Ecuador y es de esperarse un notable incremento del gradiente geotérmico en el área, que favorece la generación de hidrocarburos.

Esta subcuenca alargada geológicamente se encuentra limitada al norte y oeste por el Alto de Istmina, carácter geológico importante que separa ésta subcuenca de la Subcuenca del Atrato.

2.1. Evolución de la Subcuenca San Juan

En la cuenca de Chocó se presentó subducción al final del Cretácico. Este proceso generó un cinturón magmático en el oriente de la Cordillera Occidental. En el Eoceno inferior se inició el acrecentamiento hacia el continente de la Cordillera Occidental y la zona de subducción migró desde el borde de la plataforma marina hasta el occidente de la Cordillera Occidental y continuó migrando hasta lo que actualmente se conoce como el occidente de la Cordillera Central y su vulcanismo.

Este proceso originó el cinturón de origen sedimentario-basáltico, en el límite oriental de la Cuenca Chocó. Como resultado de estos eventos en la cuenca, se inicia la sedimentación del Cretáceo Superior con suaves plegamientos e interrupciones marcadas en el Eoceno medio. A partir de allí se desarrolla una cuenca intermedia con sedimentación típica de turbiditas proximales y abanicos submarinos. Limolitas, lodolitas, areniscas y conglomerados de las Formaciones Sierra, Istmina, La Mojarra y Condoto, las cuales se depositaron desde el Paleógeno hasta el Neógeno, en una cuenca con la geometría alargada y estrecha que representa zonas restringidas por los constantes levantamientos y sedimentación local y depositación por sectores con dirección predominante N - S.

Después de la subsidencia hasta el Mioceno temprano ocurre un fallamiento de rumbo, con componentes de cabalgamiento durante el Plioceno temprano, este fenómeno parece concentrado al SE de la subcuenca y es a lo largo de las fallas orientadas N - S y SO - NE. Este fallamiento reactivó algunas fallas extensionales, rift, formadas tempranamente en estas áreas, pero también se crearon nuevas fallas. En la subcuenca, la falla de cabalgamiento de cordillera, llegó hasta la superficie a lo largo de un plano de despegue de ángulo medio.

La sedimentación finaliza con las Formaciones Raposo y Mayorquín, y la compresión de la Placa del Pacífico, mantiene plena actividad desde el occidente de la cuenca con cinturones de diapiros y fallas de inversión tectónica que cortan la totalidad de la serie sedimentaria en zonas donde el basamento se encuentra más cerca a la superficie.

La subcuenca contiene una espesa serie sedimentaria del Mioceno, limitada por una cordillera que apenas emergía al oriente y al norte; la cual aportó el material depositado en el occidente, en una depresión formada anterior y coetánea con el levantamiento y deformación actual.

La Subcuenca San Juan y específicamente donde se encuentra ubicado el programa sísmico Chocó-Buenaventura 2D-2006, presenta una zona deformada que limita al N y al O con el Alto de Istmina, evento tectónico importante y cuya zona deformada es sincrónica con el movimiento de rumbo de tipo dextral siendo éste uno de los principales componentes para su acreción, denominada por Bueno y Govea en 1976, como el Palealto de San Juan que separa las Subcuencas de los ríos Atrato y San Juan que drenan hacia el N y hacia el S respectivamente.

2.2. Geología de la Subcuenca de San Juan

Dentro de la estratigrafía del área enmarcada por el programa sísmico, ésta serie predominantemente clástica se inicia con una sedimentación del Cretáceo tardío y son rocas que se depositan y se extienden desde el Barremiano hasta el Paleoceno, en un proceso de sedimentación continua y están representadas por sedimentos abisales, pelágicos y turbidíticos distales. La litología corresponde a chert negro y rojo radiolarítico, shale gris, lentes calcáreos limosos, calizas pelágicas y algunas arcillas de naturaleza piroclástica. Basaltos y diabasas procedentes del vulcanismo de la Cordillera Occidental son reportados en la parte inferior y media de la secuencia.

La sedimentación del Cenozoico ocurrió en una cuenca más extensa que la Subcuenca San Juan actual y asociada subsiguientemente con eventos de deformación y erosión de la Cordillera Occidental.

Posteriormente al levantamiento constante de la Cordillera Occidental, la erosión y depositación de sedimentos en la Subcuenca San Juan, ocurren eventos de compresión generando plegamientos y fallamientos inversos en la zona basal de la serie sedimentaria, principalmente cretácica.

Las rocas más antiguas de éste ciclo en el área datan del Paleoceno y Eoceno superior, donde la sedimentación fue continua hasta el Mioceno medio a superior. Estos eventos de depositación sobre zonas paleo-deformadas en la subcuenca, son identificados como depósitos turbidíticos proximales a intermedios, con abundante aporte de materia orgánica continental y presentan una depositación con frecuentes cambios faciales, truncamientos y acuñamientos.

EDAD		CUENCA DEL RIO SAN JUAN						CUENCA DEL ATRATO
		DUNIA 2006	SUÁREZ RODRIGUEZ 1990	COSSIO 2002	REPSOL 1996	TEXAS COMPANY	MONTOYA 2003	SUÁREZ RODRIGUEZ 1990
Cuaternario	Holoceno			Aluviones-terrazas	Terrazas	Aluv-terrazas	Dep recientes	
	Pleistoceno	Depósitos aluviales			S			
Neógeno	Plioceno		Fm Atrato	Raposo Mavoraquin	Fm Atrato	Fm Atrato	Fm Raposo Fm Mavoraquin	Fm Quibdó Fm Munquidó
	Mioceno superior	HIATO	Fm Munquidó R	Fm Nóxita HIATO	Fm Munquidó R	Fm Munquidó HIATO	Sd Ladrilleros	Fm Sierra R
	Mioceno medio	Fm Conglom de la Mojarra						Fm Napioí
	Mioceno Inf		Fm Condoto	Fm Condoto	Fm Condoto	Con doto	Fm Napioí	
			Fm Itzmina	Cong. Mojarra	Cong. Mojarra	Cong. Mojarra	facie condoto	
Paleógeno	Oligoceno	HIATO	Fm Sierra R		Fm Sierra R	Fm Sierra R	HIATO	Fm Salqui R
	Eoceno		Fm Ijó R	HIATO	S Fm Ijó R	Fm Ijó R	Fm Rio Piedras	Fm Clevo Fm Valles R
	Paleoceno		Fm Ijó R				Fm Espinal	HIATO
CRETACICO		Complejo Sta Cecilia la Equis	Basamento Económico	Grupo Dagua	Grupo Dagua	Grupo Dagua	Fm Cisneros G. Dabásico	Fm Barroso



Roca fuente Roca reservorio Roca sello Rezumaderos

Cuadro 1. Nomenclatura estratigráfica subcuenca San Juan (tomado de HGA,2010)

Por ésta causa es difícil establecer una nomenclatura unificada para el área. Muchas aproximaciones que se han hecho en éste sentido están consignadas en el Cuadro 1 de nomenclatura con las series sedimentarias levantadas en diferentes épocas y diferentes sitios de la cuenca en los trabajos realizados por las compañías Texaco y Shell, principalmente, y solo tienen validez local. Reflejan entonces las litologías identificadas en la nomenclatura estratigráfica publicada; areniscas, conglomerados, lodolitas y carbonatos, con cambios importantes en su ambiente de sedimentación y delineando geometrías cambiantes de depositación, truncaciones principalmente.

Estudios existentes en la subcuenca muestran columnas estratigráficas desde 1950 de REPSOL (1990) y de los últimos veinte años de Montoya (2003), INGEOMINAS (2003) y

Suarez Rodríguez (1990) que muestran cierta similitud en los conceptos y las secuencias estratigráficas.

El ICP en los años 90 realizó un estudio micropaleontológico en el cual determinó los ambientes de sedimentación y la posición cronológica de rocas cartografiadas en la Subcuenca San Juan, Departamento del Chocó. Los análisis indican que la cuenca acumula depósitos de manera discontinua en el tiempo desde el Cretáceo Superior hasta el Plioceno. Durante el Paleógeno y Neógeno, los sedimentos fueron depositados en ambientes batiales y de plataforma externa a paleo-profundidades que oscilaron entre los 2000 m y los 200 m, respectivamente.

El conocimiento estratigráfico y micropaleontológico del Cretáceo Tardío - Paleógeno es aún incipiente en la Subcuenca San Juan, y en general del Pacífico Colombiano. El Neógeno, particularmente el Mioceno, está documentado y parece tener un mejor entendimiento de los eventos que a nivel paleoceanográfico y bioestratigráfico, han sido identificados en el occidente Ecuatoriano y las regiones del Pacífico Norte de Colombia y Panamá.

Para éste trabajo y dentro de los parámetros conocidos se tuvo en cuenta el aporte de los geólogos del grupo de interpretación en campo y con los datos sísmicos, lo que permitió establecer una serie sedimentaria para la zona central y sur de la subcuenca como se describe a continuación:

2.3. Estratigrafía y facies sedimentarias

2.3.1. Rocas Cretácicas Barremiano-Paleoceno

Litología: Areniscas, lodolitas, carbonatos y diabasas son levantadas por Texaco y datadas por Duque Caro en 1990. En el área, constituyen rocas de la Formación Iró.

2.3.2. Formación La Sierra

Litología: Areniscas, limolitas y lutitas son las litologías de la formación y definidas en el área de estudio por Suarez Rodríguez (1990) y por Repsol (1990).

Edad: Eoceno superior.

2.3.3. Formación Istmina - Grupo San Juan Inferior

Litología: Limolitas calcáreas y síliceas con intercalaciones de arenitas finas y ocasionales capas de conglomerado.

Edad: Oligoceno

Espesor: 2.400 metros - 5.450 metros (aproximado) (INGEOMINAS, 2003).

Ambiente de Depositación: Turbiditas lodosas.

Autor: Figueroa & Núñez (1990).

Localización: Se ubica en la zona noroeste del área estudiada entre los ríos Ordó y Svirú en una franja afectada por plegamiento y en contacto fallado al norte y normal al sur con la Formación Conglomerados de la Mojarra.

Los afloramientos de la Formación Istmina están al parecer en contacto normal con la Suprayacente Formación Conglomerados de la Mojarra.

Macroscópicamente la formación presenta intercalaciones en capas principalmente delgadas en las cuales predominan limolitas, litoarenitas finas, lodolitas y capas medias de conglomerados.

2.3.4. Formación Conglomerados de la Mojarra

Grupo San Juan Medio

Litología: Arenitas y conglomerados líticos con intercalaciones de lodolitas y limolitas grises.

Edad: Mioceno medio a Mioceno tardío (Duque Caro, 2008).

Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano (Texas, 1990; en INGEOMINAS, 2003).

Espesor: 740 metros (INGEOMINAS, 2003)

Ambiente de Depositación: Turbiditas arenosas y canales submarinos.

Autor: Figueroa & Núñez (1990).

Localización: Se ubica en la zona norte del área estudiada entre los ríos Ordó y Capiro en una franja con variaciones estratigráficas laterales y conformando el flanco sur del Anticlinal de la Trojita – Capirito.

La Formación Conglomerados de la Mojarra, está constituida por cuarzdioritas, chert, areniscas limolitas, calizas y en menor proporción de rocas volcánicas contenidas en una matriz arenosa, con intercalaciones de limolitas silíceas y ocasionalmente con lodolitas calcáreas. La disposición y variedad de los cantos muestran una baja distribución areal, los cuales se encuentran distribuidos en zonas de canales turbidíticos o de cauces de ríos de alta pendiente.

2.3.5. Formación Condoto

Grupo San Juan Superior

Litología: Lodolitas calcáreas y silíceas, con intercalaciones de litoarenitas principalmente; ocasionalmente, limolitas y calizas tipo mudstone, conchas de bivalvos y gasterópodos.

Edad: Mioceno medio-bajo a Mioceno tardío-bajo (Duque Caro, 2008).

Espesor: Variable de 2800 ft a 3100 ft (ANH, 2008)

Ambiente de Depositación: Marino, turbidítico lodoso hasta plataforma y arrecifales

Autor: Figueroa y Nuñez (1990)

Localización: Se encuentra en la parte norte de la zona estudiada en amplias franjas afectadas por plegamientos y fallas. Presenta un aparente contacto neto sobre la infrayacente Formación Conglomerados de la Mojarra en la zona del Río Capiro.

La Formación Condoto presenta su exposición más continua en el sector de La Barra – Ladrilleros – Juanchaco junto al Océano Pacífico.

2.3.6. Formación Mayorquín

Litología: Intercalaciones de litoarenitas arcillosas y arcillolitas. Contiene cantos con restos de conchas, bivalvos y gasterópodos. Conglomerados polimícticos, lodolitas arenosas y areniscas finas a medias poco litificadas, ocasionalmente restos de madera y hojas, fósiles marinos y concreciones.

Edad: Plioceno (Aspden, 1985; en INGEOMINAS, 2003)

Espesor: 1200 metros (aproximado) (INGEOMINAS, 2003)

Ambiente de depositación: Plataforma marina

Autor: Aspden & Nivia (1985).

Localización: Se encuentra principalmente en el sector de la zona estudiada a manera de una gran cobertera sedimentaria, subhorizontal, discordante sobre las formaciones infrayacentes (Istmina, Conglomerados de la Mojarra, Condoto y Nóvita). En el sector oriental y sur del Río San Juan se presenta ligeramente inclinada. Consta principalmente de una secuencia horizontal a levemente inclinada, constituida por lodolitas de color gris medio azulado a oscuro, masivas, de fractura concoidea con intercalaciones de litoarenitas de grano fino, las cuales presentan granos de arena gruesa a gránulos (Líticos 60%, Cuarzo 35%, Accesorios 5%) subredondeados. Las capas son de espesor muy fino a medio, de geometría subtabular a lenticular de contactos ondulados netos.

Los afloramientos aparecen continuos con variación estratigráfica, según la descripción realizada por HGA Ltda., para este trabajo.

2.3.6. Formación Raposo

Litología: Litoarenitas y sublitoarenitas con granos de arena gruesa a gránulos. Conglomerados polimícticos, poco consolidados, con niveles lenticulares de arena y lodo, localmente con restos de madera y hojas.

Hacia el sur areniscas conglomeráticas, conglomerados, lodolitas y láminas de carbón. Las capas son lenticulares y las rocas poco consolidadas.

Edad: Plioceno (Aspden, 1985; en INGEOMINAS, 2003)

Espesor: Sin espesor reportado.

Ambiente de Depositación: Fluvial (ríos trezados, abanicos y llanura de inundación) (Montoya, 2003).

Autor: Aspden y Nivia, 1985.

Localización: Se encuentra exclusivamente en el sector de la zona estudiada en contacto aparentemente normal con la localmente infrayacente Formación Mayorquín. En el sector oriental del Río San Juan se presenta ligeramente inclinada a subhorizontal y se extiende regionalmente hacia el flanco occidental de la Cordillera Occidental. Consta principalmente de una secuencia horizontal de lodolitas de color gris claro con niveles de litoarenitas de color gris medio, de tamaño de grano muy fino a fino, subangulares; capas tabulares para las lodolitas y lenticular para las areniscas, ocasionalmente intercaladas con arcillolitas plásticas de color gris claro con láminas y capas delgadas de cuarzoarenitas, areniscas conglomeráticas de litoarenitas de grano fino a medio, subangulares, de composición Cuarzo 60%, Feldespatos 30% y Accesorios 10%, en capas medias de geometría tabular, bien estratificadas. No presenta fósiles (Ver Figura 7).

2.3.7. Terrazas Aluviales

Llanuras Aluviales -Qal- Limos, arenas y gravas no consolidadas.

Terrazas aluviales antiguas -Qta- Arenas y gravas no consolidadas

Terrazas Aluviales -Qtn- Arena y grava polimíctica no consolidada, localmente con oro y platino.

EDAD		FORMACIÓN	ESPESOR	LITOLOGÍA DESCRIPCIÓN	RESERVORIO POTENCIAL	SELLO	ROCA FUENTE	SOBRE CARGA
PLIOCENO	HOLOCENO	TERRAZAS ALUVIALES	637'	Gravas, arenas no consolidadas				
	PLIOCENO	PAPOSO MAYORQUIN	4130'	Intercalaciones arenas/conglomerados arcillolita y limolitas				
NEOGENO	PLIOCENO	CONDOTO	4430'	Alternancia de conglomerados, arena y lodolita. Hay mas cantidad de conglomerados en la parte superior. Compuestos de arenitas friables de grano fino a medio y algo arcillosas. Conglomerados duros resistentes a la erosión posibles paquetes de 15m.				
	MIOCENO SUPERIOR			HIATO				
	MIOCENO MEDIO	Fm. CONG. DE LA MOJARRA?	5139'	Conglomerados clásticos, matriz de arena. Arenas con conglomerados. Arenitas conglomeraticas. Conglomerados con espesores grandes, mayores de 10m. duro muy resistente a la erosión de gran variedad de tamanos (De metros a centímetros).				
	MIOCENO INFERIOR	Fm. ITSMINA?	6048'	Limolitas, arcillolitas grises blandas y friables, silíceas, ocasionalmente calcareas y algunas areniscas de grano finos (algunas gravuacas) intercaladas con algunos lentes y estratos de conglom erado. Las areniscas contienen conchas fósiles y restos de material vegetal. Limolitas entre 15cm. de espesor hasta 4 m. Arena dura de de grano fino (60% cuarzo) Algun conglomerado se descarta.				
PALEOGENO	OLIGENO	Fm. SIERRA?		HIATO				
	EOCENO	FORMACIÓN IRÓ	6048'-1000'	Ambiente marino. Liditas (cuarzo en suspensión). Silice (Radiolarios). Liditas negras, capa de 5 a 10 cm. de espesor en intercalaciones con calizas frías. Liditas muy pegadas diaclasas. Radiolarios: animales que produjeron lidita, microorganismos de silice. Liditas de 1 a 2 m. Calizas: carbonato de calcio, puede presentar arena, lodolitas (arcilla). Calizas de 10 a 15 cm de espesor. Sedimentos volcanosedimentario.				
CRETACICO	GRUPODAGIA INDEFINICADO	BASAMENTO CRISTALINO		Diabasas, basaltos, esquistos, filitas, flujos de lava. Roca cristalina producto de metamorfismo dinámico.				

Figura 7.

Columna estratigráfica subcuena San Juan Área de estudio (tomado de HGA)

2.4 Geología estructural

2.4.1. Expresión Estructural en Superficie

Se presentan macropliegues en el área, tal como el Sinclinal de la Mojarra, cuyo eje posee una tendencia paralela a la falla de cabalgamiento de la Cordillera Occidental, se caracteriza por presentar buzamientos de menos de 10°. Este sinclinal de más de 80 km de longitud por 20 km de ancho, su límite oriental es la falla regional que levanta la Cordillera Occidental con alto desplazamiento en el sur y norte del área de estudio, mientras que en la parte media donde el sinclinal es más profundo se observan tres a cuatro fallas inversas que van levantando el basamento con menor desplazamiento. Regionalmente y en superficie la falla de cabalgamiento no presenta cambios sustanciales.

El flanco occidental del Sinclinal de La Mojarra está cartografiado con buzamientos bajos, separado del Anticlinal de Nóvita por fallas de menor desplazamiento y haciendo parte del flanco oriental del anticlinal, que en la parte central del área tiene una dirección oeste-este separando la gran estructura sinclinal.

2.4.2. Estilo estructural compresivo

La cuenca y su estratigrafía en su configuración actual están afectadas por fallas inversas, en su mayoría, de inclinación oriental. Las fallas son de bajo desplazamiento producto de esfuerzos compresivos de la Placa del Pacífico que originó inversión tectónica en el Paleoceno y Eoceno medio. Las fallas extensionales formadas tempranamente en la cuenca tipo rift, son reactivadas por las mismas zonas de debilidad preexistente y sus desplazamientos continúan con el acortamiento y acreción cordillerana.

2.4.3. Estilo estructural transpresivo

El arqueamiento de la Cordillera Occidental es el producto de la tectónica del Neógeno tardío (Figura 8). La placa continúa su desplazamiento hacia el continente con desplazamientos diferenciales que muestran menor avance de esfuerzos en las zonas de Panamá y Tumaco – Buenaventura, y mayor desplazamiento en la parte central y equidistante de las dos zonas enunciadas, mostrando en ésta parte central el efecto de cuña contra la cordillera y máximos levantamientos en esa parte central. Esos esfuerzos en la parte sur y norte tienen desplazamientos horizontales al sur, de dirección SO - NE y en el norte, NO – SE, que son denominados por algunos autores como fallas de rumbo y transversales. En el área y en la Subcuenca de San Juan los trazos de la Falla de Garrapatas en superficie y las fallas del río San Juan son de carácter transpresivo.

SITUACION DEL AREA DENTRO DEL MARCO GEOLOGICO REGIONAL

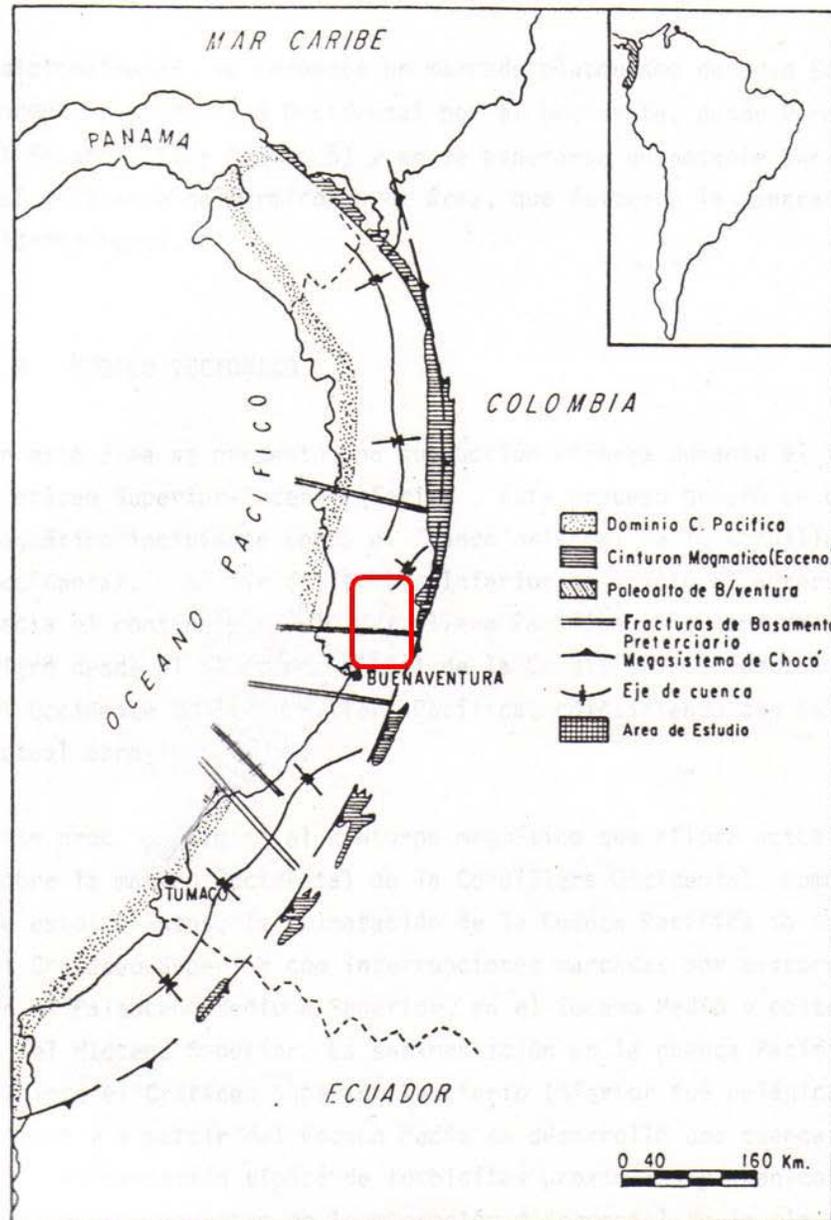


Figura 8. Esquema estructural de la cuenca. (Tomado de Garcia & Prince, 1982)

2.4.4. Dominios estructurales

Desde el Cretáceo superior hasta hoy, la Cuenca Chocó ha sido el reflejo de una cuenca con tectónica de extensión o distensiva al comienzo y de compresión y transpresión en la

actualidad con acumulación de sedimentos fluviales y marinos y presencia de fallas normales de inclinación occidental mostrando mayores espesores hacia el occidente en su inicio, registrado por el espesor de los sedimentos y acreción y acortamiento por fallas de inversión tectónica y de inclinación oriental en la actualidad .

La colmatación y subsidencia en la cuenca pacífica durante el cretácico superior generó un evento de sedimentación de amplia acción areal mientras que hoy son levantamientos constantes con plegamientos, fallamientos inversos y diapirismo. La tectónica compleja y morfología accidentada del Pacífico Colombiano está definida por la orogenia reciente expresada en su fisiografía actual.

En el área existen cuatro dominios estructurales, descritos a continuación:

Dominio cordillerano

Los máximos levantamientos están al oriente del área de estudio con un desplazamiento importante generado por la falla de piedemonte dejando un salto de falla de más de 4000 metros. En la zona media del registro sísmico se observa que el levantamiento de la cordillera ocurre por desplazamiento escalonado de fallas inversas. Este dominio cordillerano se manifiesta al poner en contacto horizontal a las rocas basálticas del basamento, con rocas de edad del Paleógeno y Neógeno.

La elevación cordillerana es producto del desplazamiento de la falla de alto ángulo del piedemonte, alcanzando una elevación de 2.000 msnm.

Dominio de La Mojarra

Con el producto de la depositación y subsidencia al frente y en paralelo al piedemonte cordillerano se desarrolla el sinclinal denominado La Mojarra – Buenaventura, con orientación predominante N – S, formado por las rocas sedimentarias cenozoicas, interpretadas y mapeadas en el área objeto del presente estudio.

Las fallas presentes en el sinclinal afectan principalmente rocas sedimentarias de la base y concretamente rocas del Cretáceo y Paleoceno; y obedecen al sistema de fallas denominado Fallas de la Mojarra y a su estructuramiento.

Este dominio caracteriza la profundidad de la cuenca y marca la gran densidad de fallas inversas con dirección norte-sur y noreste.

Dominio de Fallas Transversales

Originado por fallas que afectan la totalidad de la sucesión sedimentaria, desde el basamento hasta las rocas cretácicas y cenozoicas, estas fallas tienen expresión superficial y presentan desplazamientos de rumbo que atraviesan estructuras de dirección N - S, esta situación genera grandes desplazamientos que transportan el bloque desde el occidente contra la cordillera. Este dominio tiene su límite sur en la falla de Málaga y norte

en la Falla de San Juan, las cuales separan el Sinclinal de La Mojarra por el Anticlinal de Nóvita transportado en más de 60 kilómetros.

Dominio de diapiros y levantamientos del occidente de la subcuenca

El noroccidente del área objeto del presente estudio es afectado por levantamientos de cuerpos con características de diapiros de lodo, dado el arrastre mostrado en algunos sedimentos que muestran rastros de la verticalidad de los desplazamientos y de la mediana velocidad mostrada de los cuerpos. Estos levantamientos se observan principalmente en la línea ANH-CH(B)-12-2006, en la parte occidental y se observa la influencia que han tenido estos lodos en los levantamientos de los sedimentos recientes y las fallas de rumbo que han dejado en contacto los diapiros con rocas sedimentarias recientes.

3. INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA DE LOS DATOS

El estudio de subsuelo para el área se fundamentó en:

1. Información sísmica de reflexión –perfiles 2D- de la que se generaron mapas estructurales en tiempo sísmico migrado y en profundidad de los topes formacionales y de secuencias, en escala 1:100.000.
2. Registros eléctricos de los pozos, principalmente de potencial espontáneo y resistividad, que permitió una correlación de la litología de los pozos de la cuenca con rocas de subsuelo en donde se encuentra el registro de las líneas sísmicas.
3. Geología de superficie descrita en los diferentes afloramientos de la cuenca por diferentes autores y realizada en detalle por geólogos del proyecto –HGA- en la zona de registro.

Para la interpretación sísmica del presente trabajo, se tuvieron en cuenta los diferentes conjuntos de reflexiones que en el área mantienen características similares, delimitando así unidades de “secuencias sísmicas” (R.M. Mitchum et.al., memoria 26 pp. 117), susceptibles de ser mapeadas.

En las secciones sísmicas, se pueden observar cambios graduales en las características de algunas reflexiones lo cual indicaría los cambios laterales de facies que representan los sedimentos que conforman las diferentes secuencias sísmicas, situación ésta que se evidencia en la sección sísmica ANH-CH (B)-12-2006.

Aun cuando la información sísmica en general presenta buena calidad, en algunos sitios - particularmente en donde hay complejidad tectónica- se pierde calidad y la interpretación se hace más difícil.

La interpretación estructural y estratigráfica en el área hace parte del cubrimiento sobre las líneas sísmicas del programa ANH-CH (B)- 2006-2D, pero incide y constituye en buena parte del conocimiento tanto geológico como económico y estratégico en las áreas periféricas del programa sísmico y de la subcuenca.

3.1. Interpretación Geológica de la Información Sísmica

Esta interpretación se realizó con base en seis líneas sísmicas regionales que cubren un área total de 8.000 kilómetros cuadrados, los perfiles sísmicos 2D están distribuidos en una malla de 8 kilómetros en el sur y de 20 kilómetros en el norte.

Los perfiles sísmicos fueron interpretados en copia dura a 4.5 segundos, escala horizontal de 30 trazas por pulgada con una traza por medio, escala vertical 5.0 pulgadas por segundo y polaridad positiva al pico negro de la onda. Los mapas estructurales se unificaron en un nivel de referencia –o datum- de 500 metros sobre el nivel del mar. Además se interpretó en medio magnético con referencia nivel del mar.

Los datos sísmicos fueron registrados por la empresa G2 Seismic Ltd., y el procesamiento se realizó con la firma Petroseis Ltda. La densidad del cubrimiento de la información es muy baja, basándose en el perfil sísmico por Kilometro cuadrado (Km²). Ésta interpretación comprende mapas de escala 1:100.000 y 1:50.000 elaborados a partir de las secciones sísmicas del programa Chocó – Buenaventura 2D 2006.

Con el fin de establecer un modelo en profundidad se tomaron las velocidades de las cajas con RMS e Interválicas se utilizaron aproximadamente 500 análisis de velocidad, tanto para el control de los horizontes estudiados, como para el control de los eventos geológicos sucedidos en el área, la diferenciación de los materiales distribuidos en la misma y la elaboración de los mapas en profundidad. Estas velocidades también se evaluaron en grupos estadísticos para áreas donde el basamento está más cerca de superficie, -un segundo- para el basamento identificado a mayor profundidad en tiempo -tres segundos- y uno intermedio a los dos anteriores; se identificaron además reflectores que identifican formaciones características y especialmente la discordancia Eoceno por su gran paleorelieve.

Como mapas base se utilizó el mapa de puntos de disparo correspondientes al programa realizado en el área, a escala 1:100.000.

3.1.1. Líneas sísmicas migradas en tiempo e interpretación

Secciones Sísmicas

En el presente estudio se estudiaron seis (6) secciones sísmicas regionales, en un total de 350 kilómetros, ellas son:

ANH-CHOCO (B)-2006-03 NORTE-SUR
ANH-CHOCO (B)-2006-05 NORTE-SUR
ANH-CHOCO (B)-2006-10 ESTE-OESTE
ANH-CHOCO (B)-2006-12 ESTE-OESTE
ANH-CHOCO (B)-2006-12A ESTE-OESTE
ANH-CHOCO (B)-2006-14 ESTE-OESTE

Las líneas sísmicas se registraron a 20 segundos y se aprecian dos zonas: una desde la superficie hasta 3.5 segundos donde se observan claramente reflectores continuos (Línea ANH-CH (B)-2006-12). Y la otra de 3.5 a 20 segundos donde no se observa reflexión alguna y se presenta la característica respuesta de rocas de basamento cristalino.

La cuenca y su estratigrafía en su configuración actual están afectadas por fallas inversas, en su mayoría, de alto ángulo y con inclinación hacia el oriente.

En las secciones sísmicas ANH-CH (B)-2006-12 y ANH-CH (B)-2006-03, se alcanzan a diferenciar cuatro secuencias principales separadas por inconformidades.

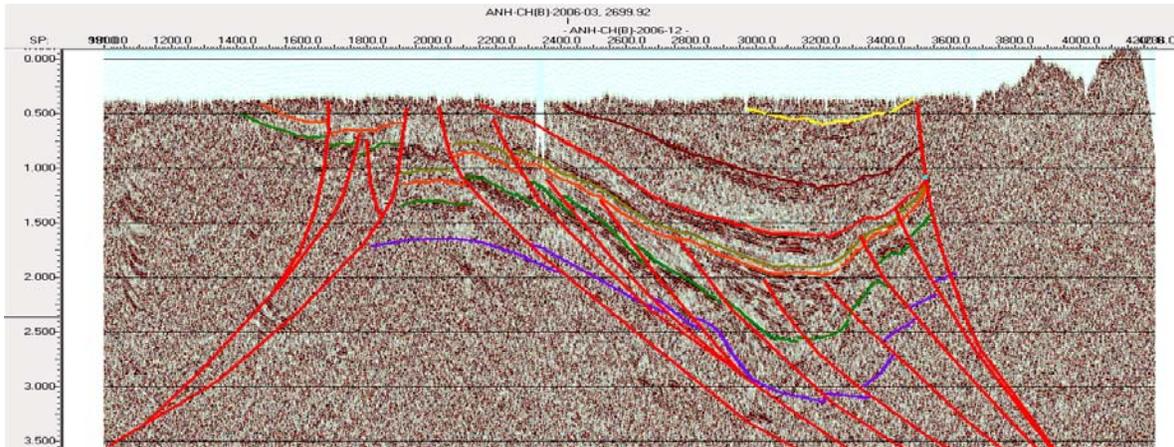


Figura 9. Sección sísmica ANH-CH (B)-2006-12

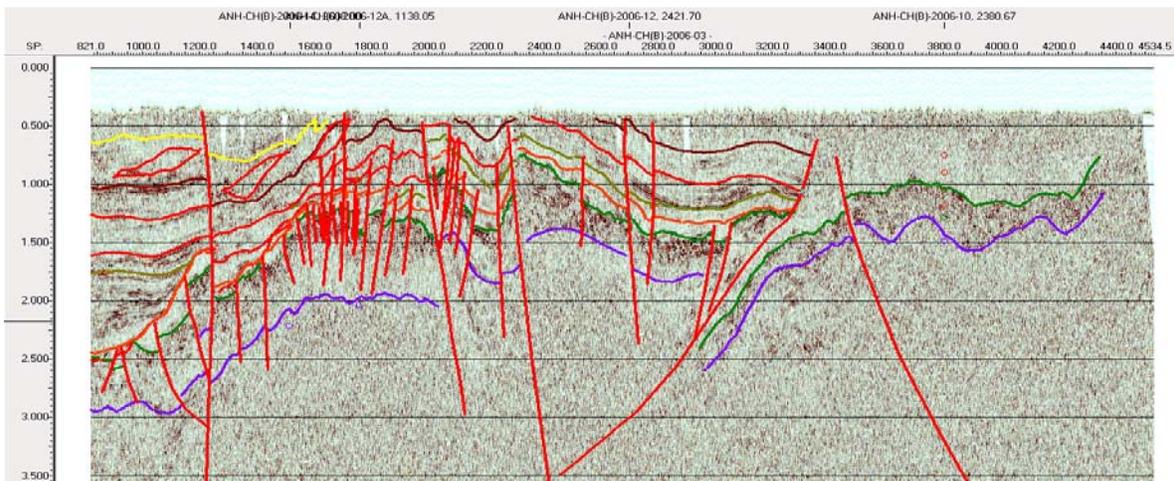


Figura 10. Sección sísmica ANH-CH (B)-2006-03

Existen además en la secuencia superior otras inconformidades que por estar dentro de los sedimentos más recientes, presentan menos interés, bajo el punto de vista de los objetivos perseguidos por este estudio.

Calidad de la información

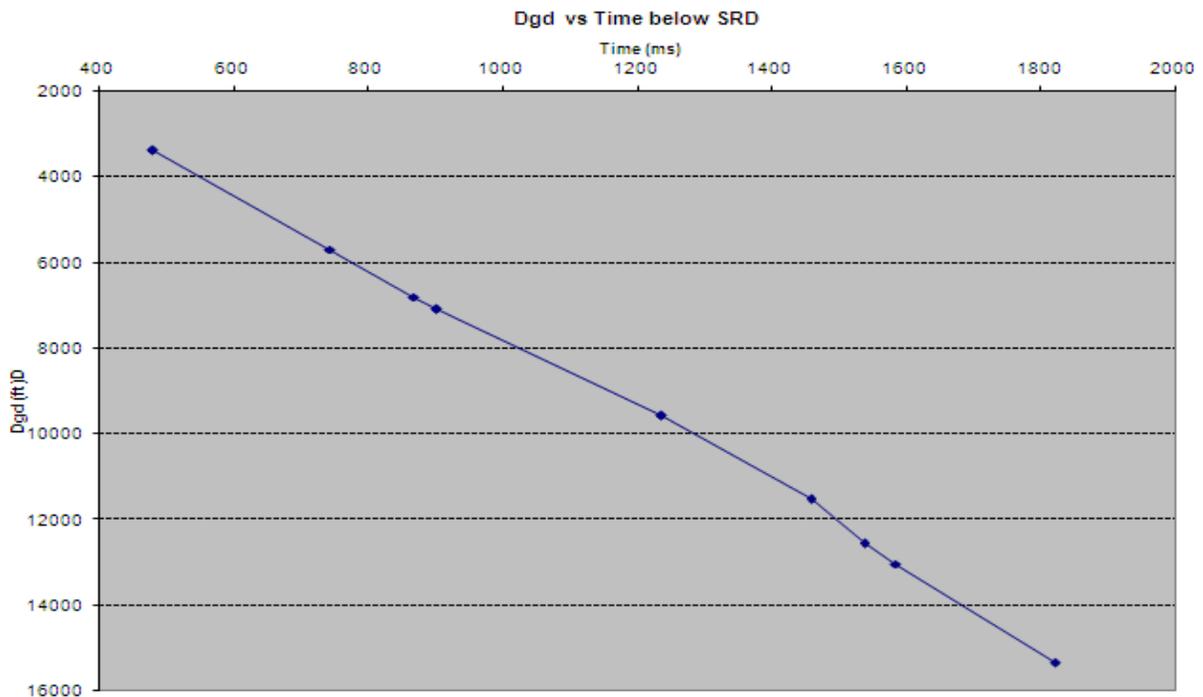
La información varía de aceptable a buena calidad, sin embargo la calidad de la información sísmica obtenida muestra sectores que no se interpretaron y se han definido como información no procesada completamente y sin la totalidad de la secuencia contratada con el centro de procesamiento

Análisis de velocidad

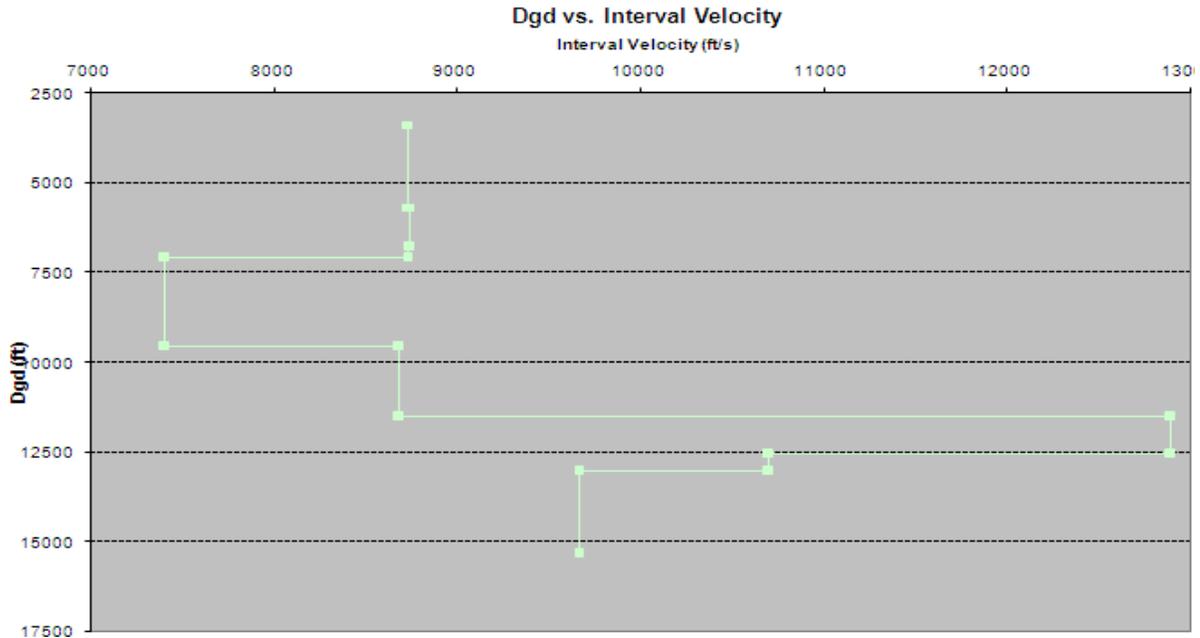
A partir de las velocidades obtenidas en el centro de procesamiento y relacionadas y determinadas a los reflectores en las secciones sísmicas, y también definidas y descritas en las cajas de velocidad cada dos mil quinientos metros (2.500), se corrió el programa de velocidades promedio y velocidades de intervalo con todas las cajas de velocidad, posteriormente se dejaron las tres más representativas por sección y finalmente se obtuvo de la parte más profunda de la cuenca y a la vez de la parte más somera de la cuenca, velocidades promedio con lo cual se obtuvo la curva tiempo-profundidad modelo para el área de estudio. No se correlacionó la información sísmica con ningún pozo de la cuenca, porque no han sido perforados pozos en la zona objeto del presente estudio.

Los análisis de velocidades efectuados con información del área fueron utilizados con diferentes objetivos. En primer lugar un notorio contraste de las velocidades de intervalo permitió identificar y controlar el “basamento sísmico”, particularmente en las zonas tectonizadas y afectadas por diapirismo. En segundo lugar ayudaron a la diferenciación de las rocas subyacentes al “basamento sísmico”, situación de gran importancia en esta zona ausente de información geológica directa.

Por último, por tratarse de un área bastante extensa es lógico esperar variaciones laterales en la velocidad que no permiten la implantación de una función de velocidad unificada para toda la cuenca, razón por la cual fue necesario elaborar un mapa de velocidades promedio hasta la base del terciario, lo cual nos permite obtener directamente la profundidad de ese horizonte en cualquier punto del área, además se incluyeron velocidades obtenidas del pozo Buchadó-1 (Gráficas 1 y 2, curva de velocidades y velocidades de intervalo del Pozo Buchadó-1).



Gráfica 1. Curva de velocidades obtenida de tiempo vs Profundidad en Buchadó-1



Gráfica 2. Velocidades de intervalo aplicadas en el área

3.1.2. Horizontes Reflectores

Horizonte Bs -Horizonte Violeta- Basamento Económico

Este horizonte marca el comienzo de un ciclo deposicional que en las secciones se muestra con una serie sedimentaria definida por la presencia de reflexiones que se describen a continuación.

3.1.2.1. Horizonte A -Horizonte Verde Oliva-

Topo del Cretáceo superior - Paleoceno

Este horizonte corresponde al topo de las reflexiones de alta amplitud en las que regionalmente caracterizan la parte más inferior del grupo de reflexiones en las secciones sísmicas con buena continuidad y distribución areal extensa.

El grupo de reflexiones –cinco o seis- de eventos paralelos y coeficientes de reflexión altos, se identifican fácilmente por el reflejo de una interestratificación de litologías (Figuras 11 y 12). Sin embargo, es importante resaltar que las amplitudes observadas reflejan la existencia de tres litologías que los datos de campo, muestran como rocas carbonatadas, areniscas, lodolitas y flujos volcánicos. El mapa del horizonte muestra que la serie de reflexiones aparecen en las secciones sísmicas a 2.8 segundos –su mayor profundidad- y su parte más somera alrededor de 1.0 segundo –sección ANH-CH (B)-2006-12

Regionalmente se muestra como la serie de reflexiones basales afectadas por alto tectonismo y es por tanto la secuencia más fallada. Se ha definido como una inversión tectónica.

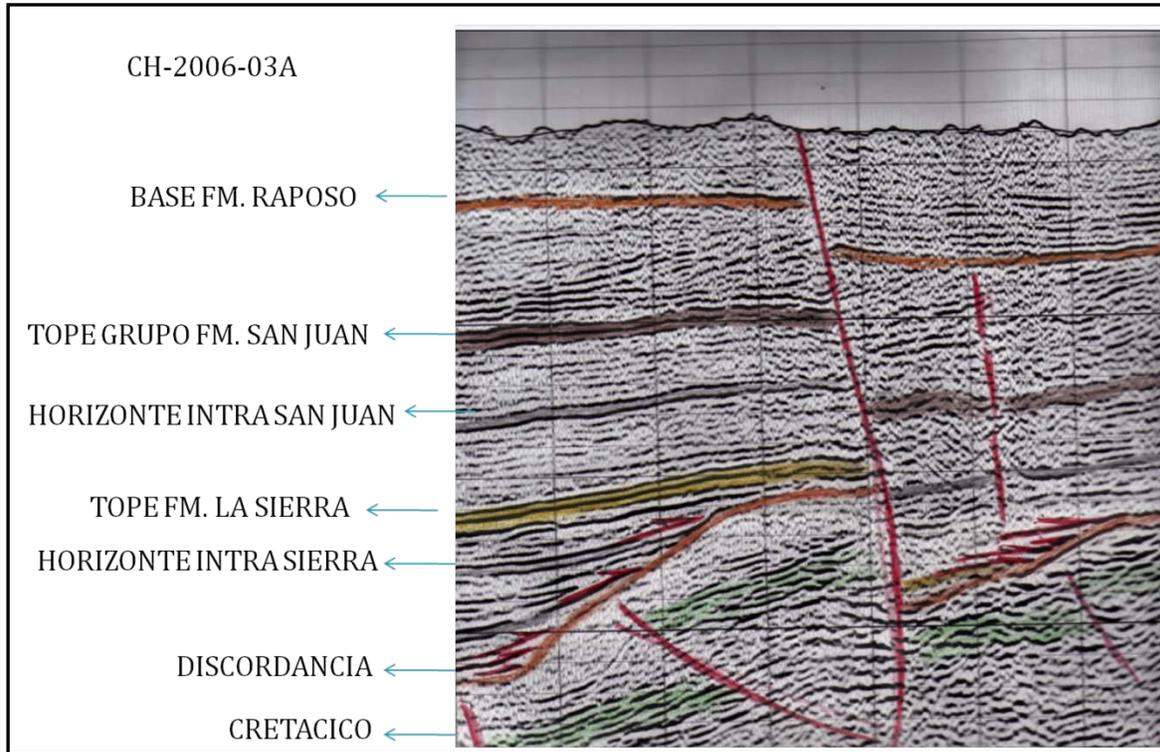


Figura 11. Sección ANH-CH (B) 2006-03A. Horizontes mapeados

SERIE SEDIMENTARIA Y HORIZONTES SISMICOS

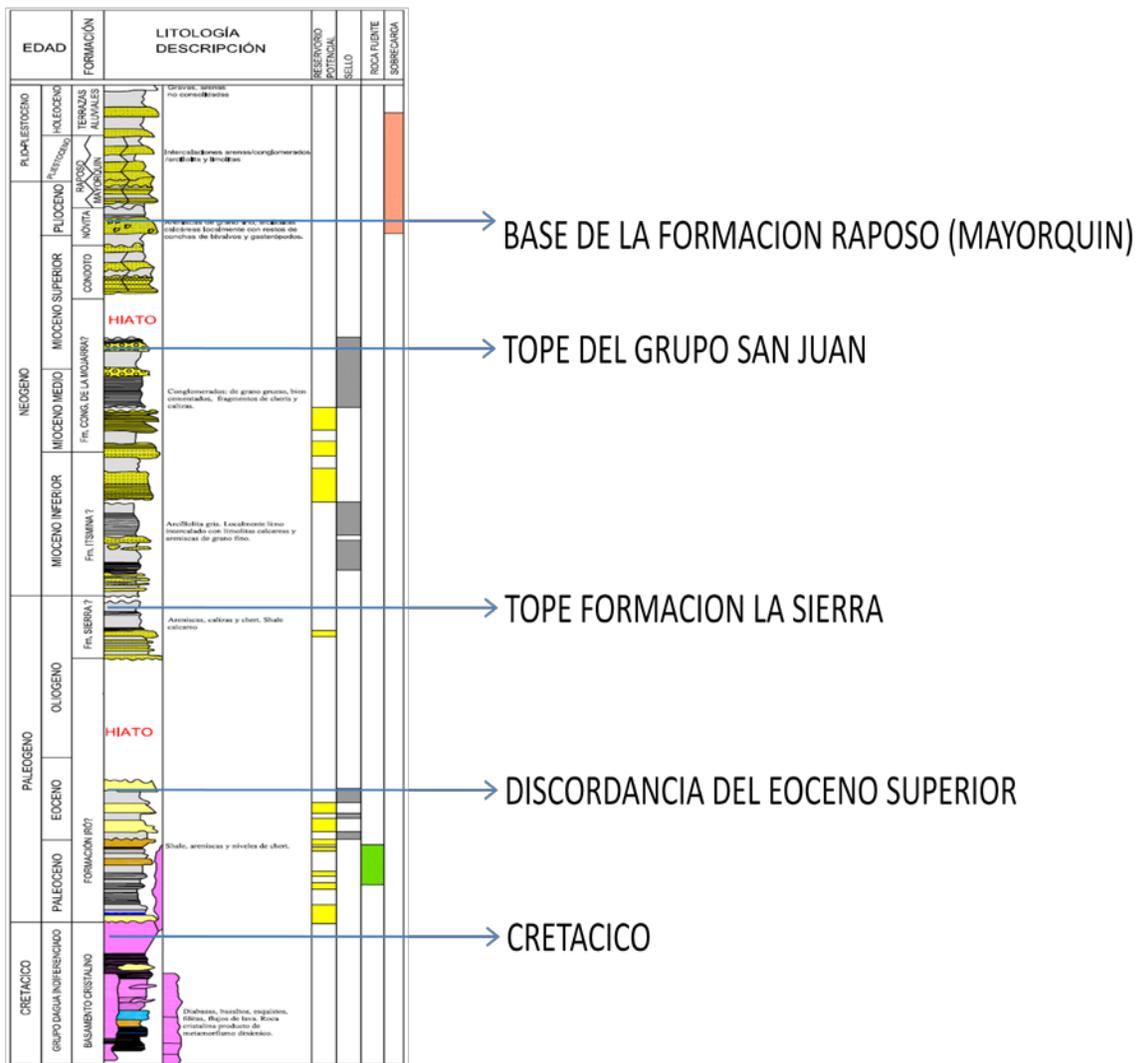


Figura 12. Serie sedimentaria y horizontes mapeados

3.1.2.2. Horizonte B -Horizonte anaranjado-

Discordancia Eoceno medio a Superior

Corresponde a una inconformidad regional y por tal razón es de fácil identificación. La inconformidad del Eoceno Medio está bien definida en la mayor parte del área de estudio y corresponde a una superficie de erosión plegada. Sobre las reflexiones de alta amplitud del Cretáceo el horizonte erosivo algunas veces incide en él, coincidiendo los dos horizontes, el horizonte A y la inconformidad. Cuando ésta superficie de erosión no afecta la litología preexistente con gran incidencia, se observa por debajo de la inconformidad un evento carente de reflexiones entre la discordancia y las reflexiones que se asumen como de carbonatos y areniscas, que pueden corresponder a reflexiones que reflejan la

existencia de sedimentos finos que podrían servir de sellos a litologías potencialmente favorables.

3.1.2.3. Horizonte C. –Horizonte amarillo oscuro-

Tope Formación La Sierra.

Este reflector se caracteriza por ser una reflexión continua y bien definida. Este horizonte presenta pocas variaciones y su continuidad está bien distribuida en el área, posee buena amplitud y esta suprayaciendo una serie de reflexiones de buena continuidad que hacen parte de la constitución litológica de la formación y solo son interrumpidas como el horizonte tope de la Formación La Sierra por paleo-superficies que les delimita su depósito sedimentándose localmente en forma de “onlap”.

3.1.2.4. Horizonte D. –Horizonte gris-

Denominado Horizonte Intra San Juan

Tope de la Formación Istmina

Un par de reflexiones de regular amplitud y buena continuidad relativamente fuertes muestran el tope de una serie de reflexiones que son el final de un evento que reflejan sedimentación con cambios faciales y litologías con cierto paralelismo en la constitución interna de la formación. Al relacionarla en la cuenca se le identifica como el tope de la Formación Istmina y su tope como sus capas subyacentes se depositan indistintamente sobre un relieve estructural formando onlap que se van extendiendo arealmente con las capas más superiores.

3.1.2.5. Horizonte E. –Horizonte Marrón-

Tope del Grupo San Juan

Tope de la Formación Condoto

Este horizonte es bastante continuo en toda el área y lo mismo que los anteriores o no está presente por los diapiros o por que ha salido a superficie. Abarca el paquete sísmico correspondiente a los sedimentos hasta el horizonte E. Se caracteriza esta unidad por ser una zona con reflexiones paralelas pero discontinuas. Su límite superior está marcado por una interface que presenta un alto índice de reflexión. Respecto a las características de esta unidad sísmica en sí, es notoria la presencia de reflexiones nítidas que desaparecen lateralmente.

3.1.2.6. Horizonte F. –Horizonte amarillo-

Base de la Formación Raposo

Esta gran variación de relaciones entre esta unidad y la que infrayace, pone de presente la diversidad de sedimentos que se depositaron encima de la inconformidad, lo cual es lógico, pues al corresponder a una superficie de paleotopografía muy accidentada, presentaba diferentes profundidades dependiendo de la localización, parámetro este que

controló los varios ambientes de depositación dando lugar a muchas clases de sedimentos con características sísmicas diferentes.

El límite superior de esta facie está marcado por un conjunto de reflexiones de frecuencia media, siendo ellas las litologías que reflejan lóbulos y estratificación cruzada y ésta característica la consideramos la base de estas reflexiones que en el tope de la secuencia identifican la base de Raposo y Mayorquín y con ellas se pueden correlacionar a lado y lado de las fallas.

3.2. Secuencias Sísmicas

De las secuencias sísmicas diferenciables en las secciones, solo se van a analizar, en este trabajo, las cuatro principales que las componen, aun cuando en el paquete correspondiente a la superior podrían diferenciarse, en algunos sitios, mas de dos, pero sin mayor interés económico, de acuerdo con el objetivo propuesto.

Sección Sísmica ANH-CH(B)-2006-03

De sur a norte la sección muestra los diferentes reflectores sísmicos, desde el basamento económico, de color violeta hasta la base de las Formaciones Raposo y Mayorquín, y una tectónica de compresión reflejada en el tipo de fallas inversas y numerosas especialmente en el cretácico entre 1 y 1.5 segundos. Entre las fallas que afectan toda la estratigrafía y salen a superficie son relativamente pocas y son fallas de rumbo o transversales con componente inverso, también de transpresión (Figura 13).

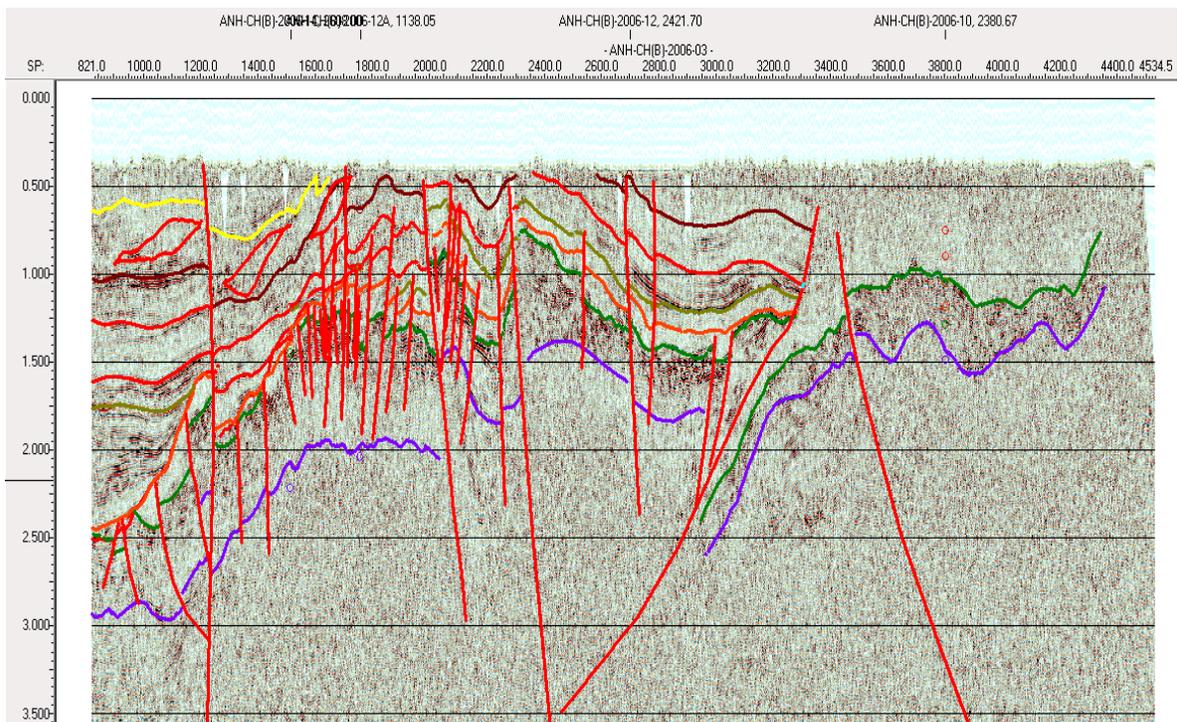


Figura 13. Sección sísmica ANH-CH(B)-2006-03 Migrada en tiempo

Sección Sísmica ANH-CH(B)-2006-12

Línea de dirección Oeste-Este, muestra las estructuras del área: El Sinclinal de La Mojarra entre las estaciones 2.400 y 3.400 con la máxima profundidad de la cuenca a tres segundos, el Anticlinal de Nóvita al occidente entre las estaciones 1.600 y 2.400. Se identifican en la sección la falla principal del piedemonte que desplaza más de 15.000 pies la zona estratificada y deja el basamento aflorando al este de la sección en lo que es la morfología de la Cordillera Occidental. Al occidente de la sección se observan algunas reflexiones entre 1.5 y 2.0 segundos incluidas dentro de los diapiros típicos del occidente del área de estudio (Figura 14).

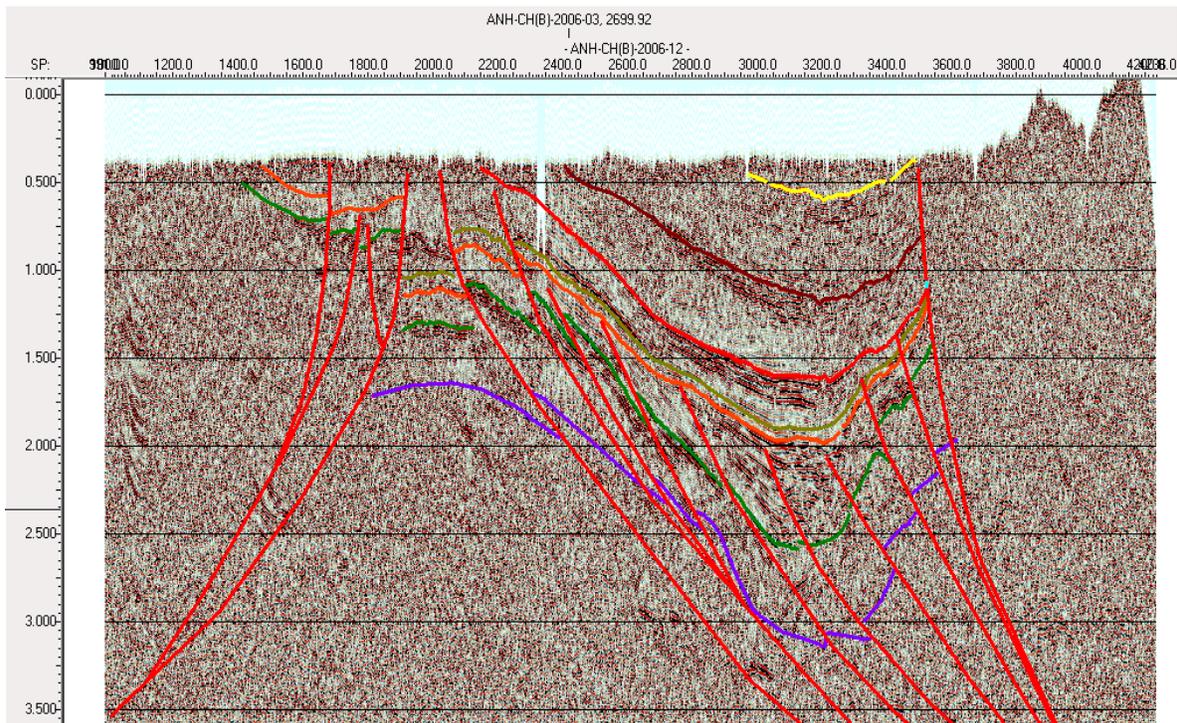


Figura 14. Sección sísmica ANH-CH(B)-2006-12 Migrada en tiempo

Sección Sísmica ANH-CH-2006-14

La sección es la más sur del programa y tiene dirección Oeste-Este, está procesada como todo el programa a 500 metros sobre el nivel del mar y contiene la parte alta topográficamente de la cordillera, se observa entonces la parte baja y plana del programa en el occidente desde la estación 4.000. El sinclinal de La Mojarra tiene una menor profundidad y aquí se observa, estando su eje cerca a la estación 3.600. Las fallas se observan con mayor verticalidad pero obedece a que en las secciones ANH-CH (B)-2006-14 y 12A, el Anticlinal de Nóvita tiene una dirección este-oeste e incide en la someridad de las secciones mencionadas (Figura 15).

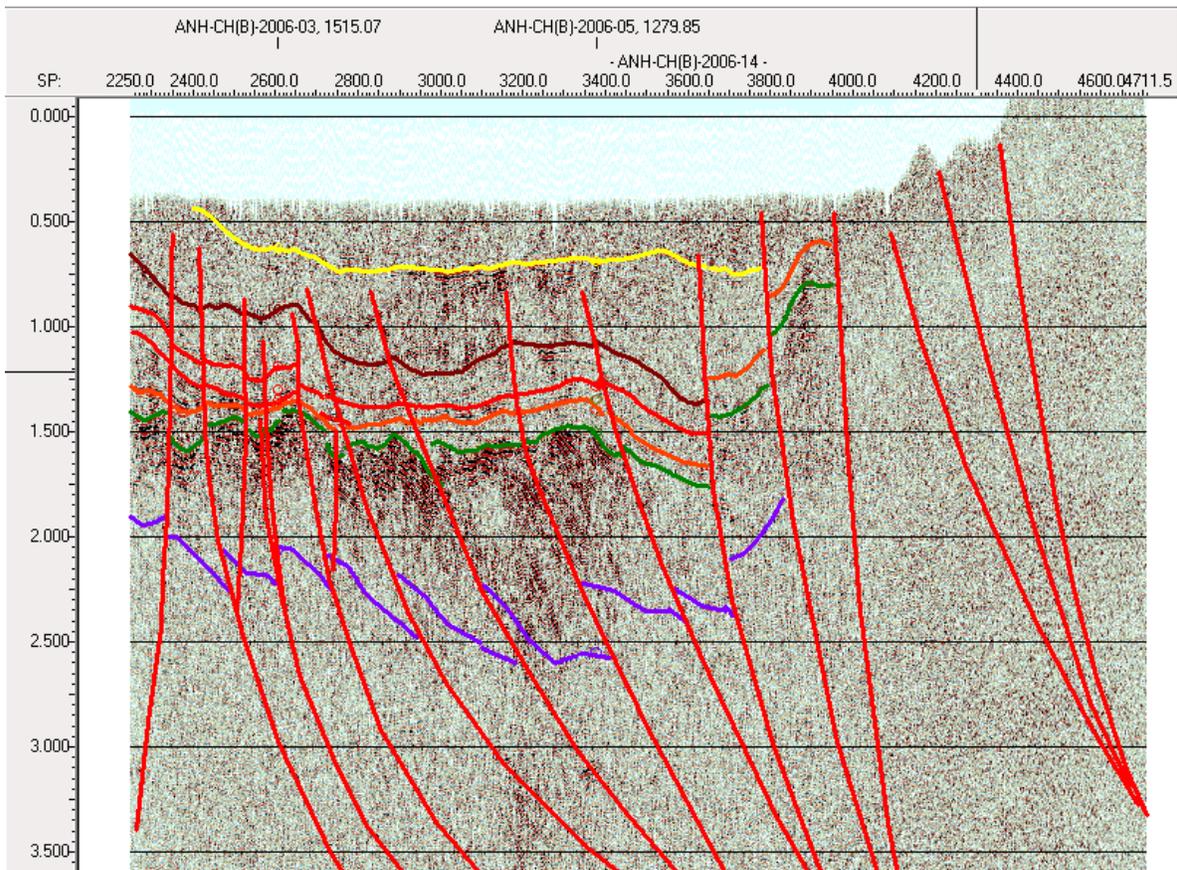


Figura 15. Sección sísmica ANH-CH (B) - 2006-14 migrada tiempo

Sección ANH-CH (B)-2006-10

Es la más norte del programa de dirección Oeste-Este y los reflectores se observan en el oriente de la sección. Están definidos los megapliegues, el Sinclinal de La Mojarra y el Anticlinal de Nóvita, con menor relieve ambos. Al occidente de la sección se observa la zona de diapirismo y al oriente la falla del borde de cordillera que levanta la Cordillera Occidental (Figura 16).

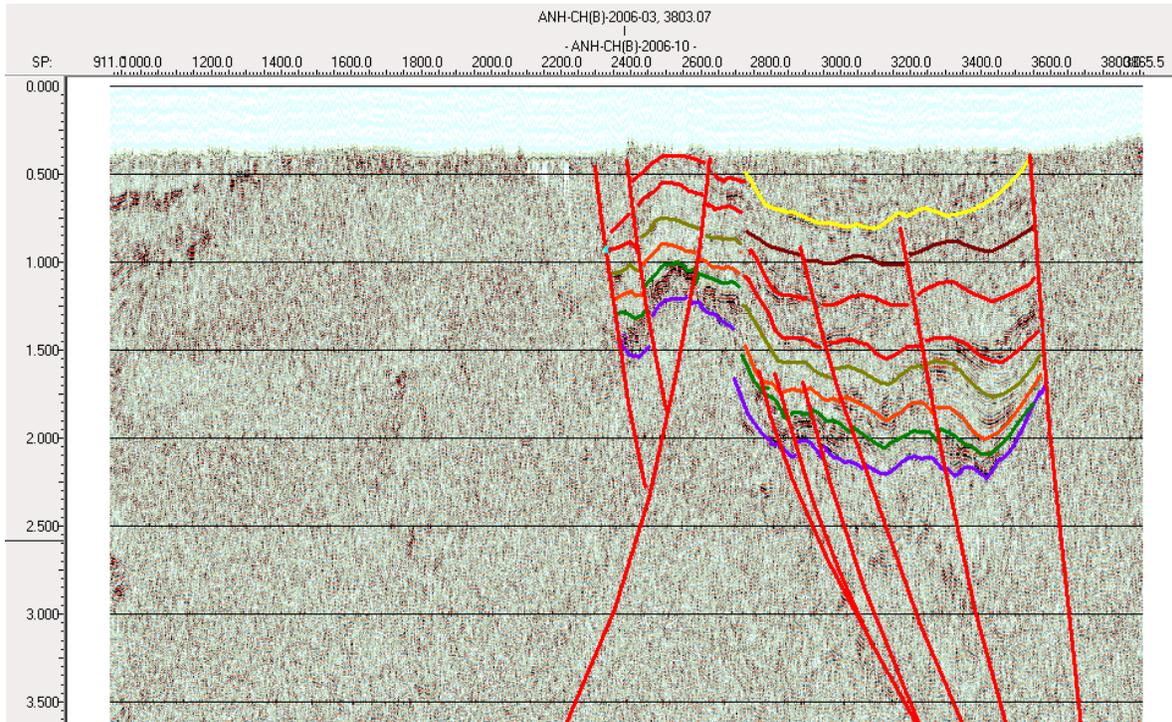


Figura 16. Sección sísmica ANH-CH (B)-2006-10 migrada en tiempo

Sección Sísmica ANH-CH (B)-2006-12A

De orientación Oeste-Este los pliegues descritos en el área y las fallas geológicas muestran de nuevo la serie Cretácea - Paleocena con alta densidad de fallas inversas y fallas que afectan toda la serie sedimentaria, al oriente levantando la cordillera y al occidente denominadas en el presente estudio como fallas geológicas con componente de rumbo (Figura 17).

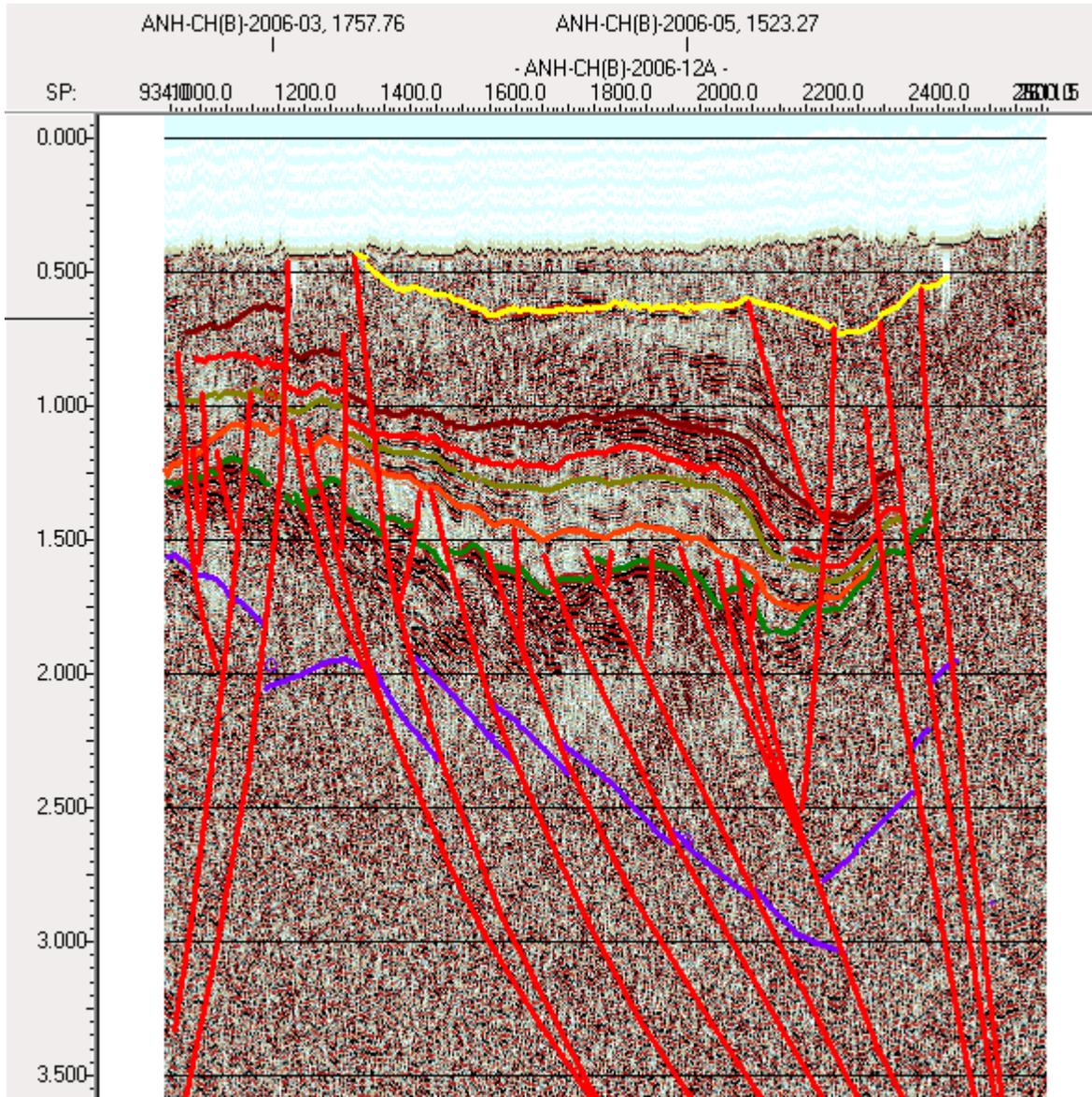


Figura 17. Sección sísmica ANH-CH (B)-2006-12A Migrada en tiempo.

Sección Sísmica ANH-CH (B)-2006-05

La sección muestra la falla occidental denominada de transpresión y se observa de bajo ángulo por ser la línea Sur –Norte. Fallas inversas están bien definidas al norte y la sección muestra un mayor espesor de la secuencia Cretácica-Paleocena (Figura 18).

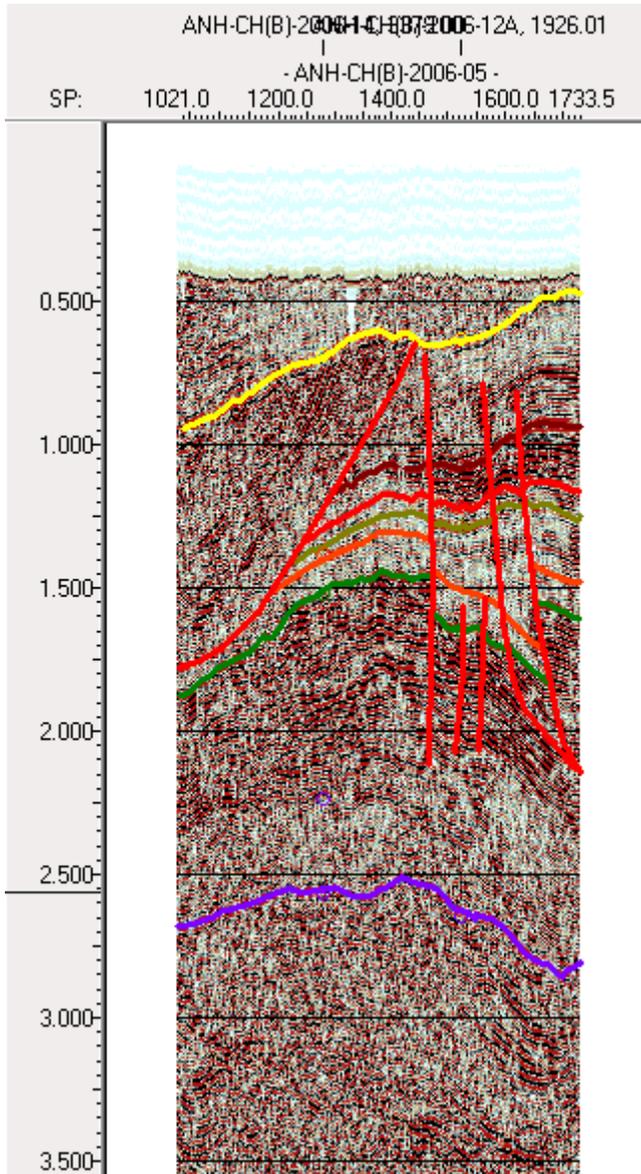


Figura 18. Sección sísmica ANH-CH (B)-2006-05 Migrada en tiempo.

3.3 Mapas

Las interpretaciones geológica y geofísica, intentan compilar las diferentes ideas expuestas en las secciones sísmicas y por lo tanto, se hace referencia estructural y estratigráfica en todos los mapas elaborados.

3.3.1 Mapa estructural en tiempo sísmico migrado de " Basamento Sísmico"

Mapa estructural en tiempo sísmico, muestra en colores azules claro, oscuro y violeta las zonas más profundas de la cuenca, 3.2 segundos. Fallas inversas de dirección suroeste-

noreste son cortadas por fallas transversales de alto desplazamiento vertical y horizontal, denominadas aquí fallas No 3 y 4 (Figura 19).

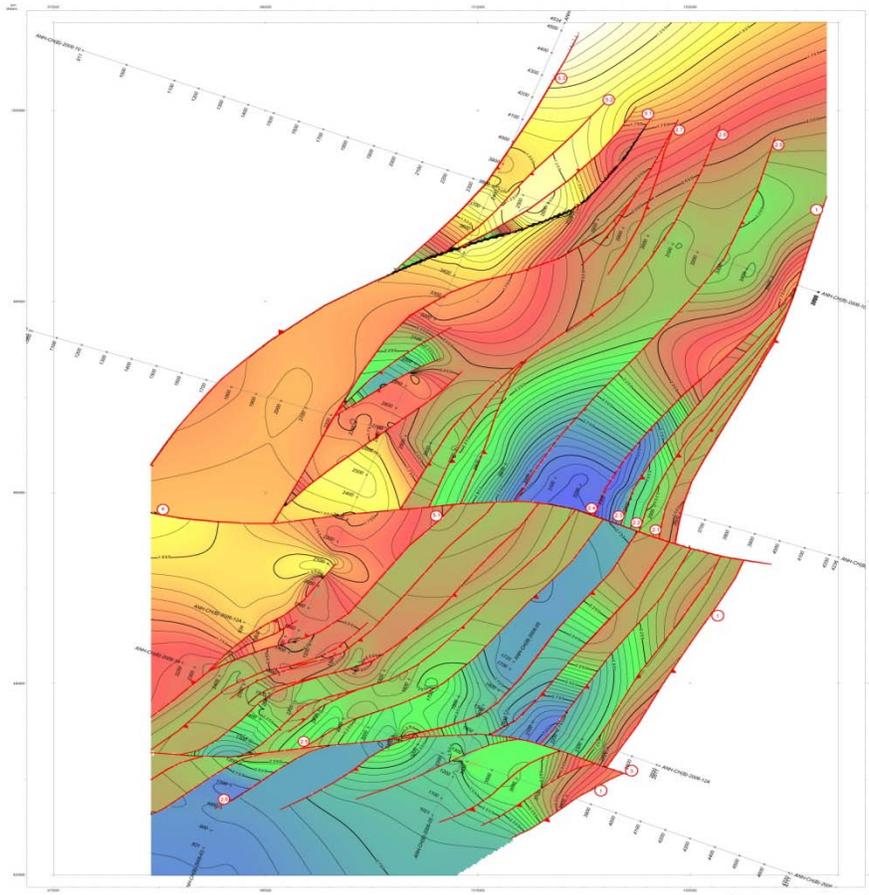


Figura 19. Mapa estructural de basamento TWT. IC: 50 ms. Datum: 500 msnm

3.3.2. Mapa estructural en tiempo migrado Tope Cretáceo-Paleoceno

Mapa en tiempo sísmico, afectado por fallas inversas de inclinación oriental principalmente y mostrando altos estructurales y zonas de interés entre las líneas ANH-CH (B) 2006 14 Y 12A. Fallas inversas de dirección suroeste-noreste son cortadas por fallas trasversales. Bajo el punto de vista geológico y de acuerdo con la evolución geológica, éste horizonte corresponde a la base de la serie sedimentaria (Figura 20).

Tectónicamente el área cubierta por éste horizonte aquí mapeado se puede dividir en dos sectores: El sector sur y medio del área, se observan profundidades de más de 2.5 segundos y comprende la parte sur del Sinclinal de La Mojarra. El sector medio muestra la zona levantada, en donde se observan las fallas de La Mojarra de inclinación oriental.

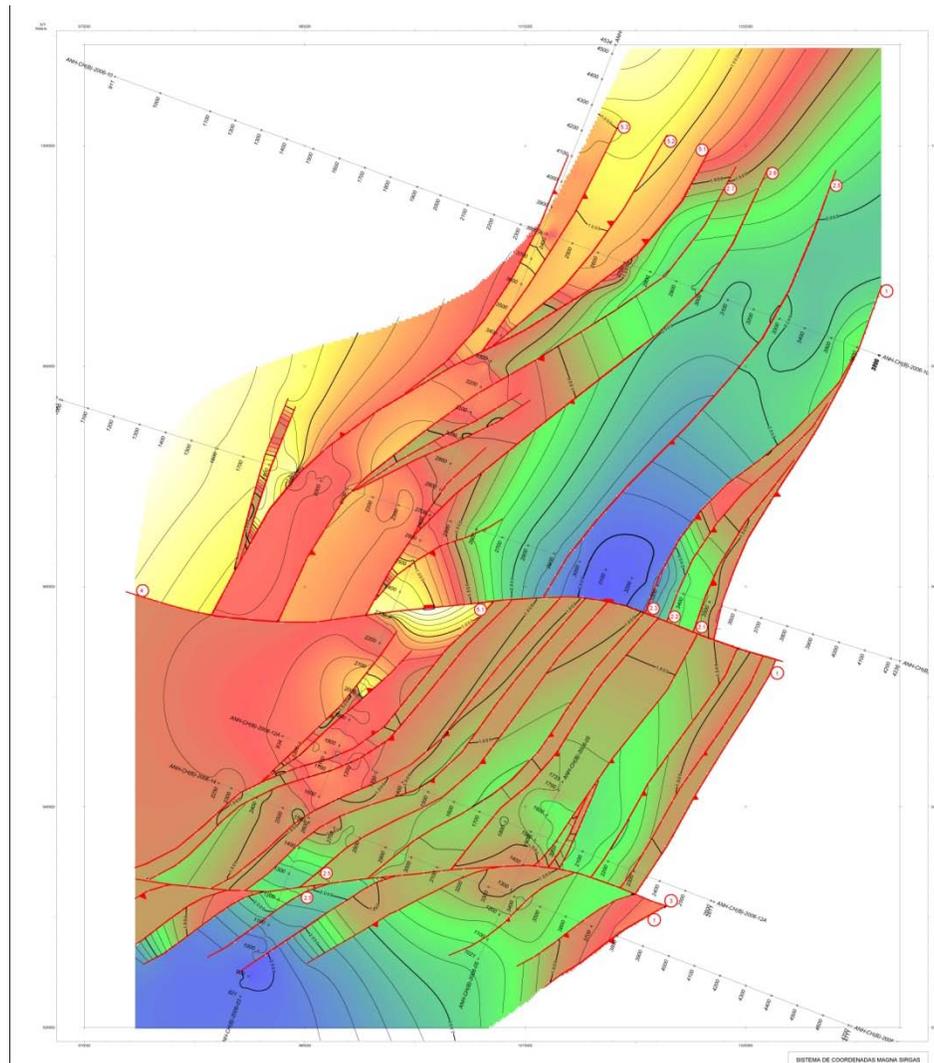


Figura 20. Mapa estructural tope Cretáceo-Paleoceno TWT IC: 100 ms. Datum: 500 msnm

3.3.3. Mapa estructural en tiempo migrado del Eoceno Medio

Mapa estructural de la Discordancia regional de edad Eoceno medio a superior, muestra la deformación y paleoerosión de esa superficie que contiene e infrayacen las rocas más antiguas estratificadas del área (Figura 21). Es el final de la primera secuencia sísmica. Incluye la serie de fallas transversales y fosiliza en un 80% las fallas de basamento y Cretáceo – Paleoceno, descritas en los dos mapas anteriores.

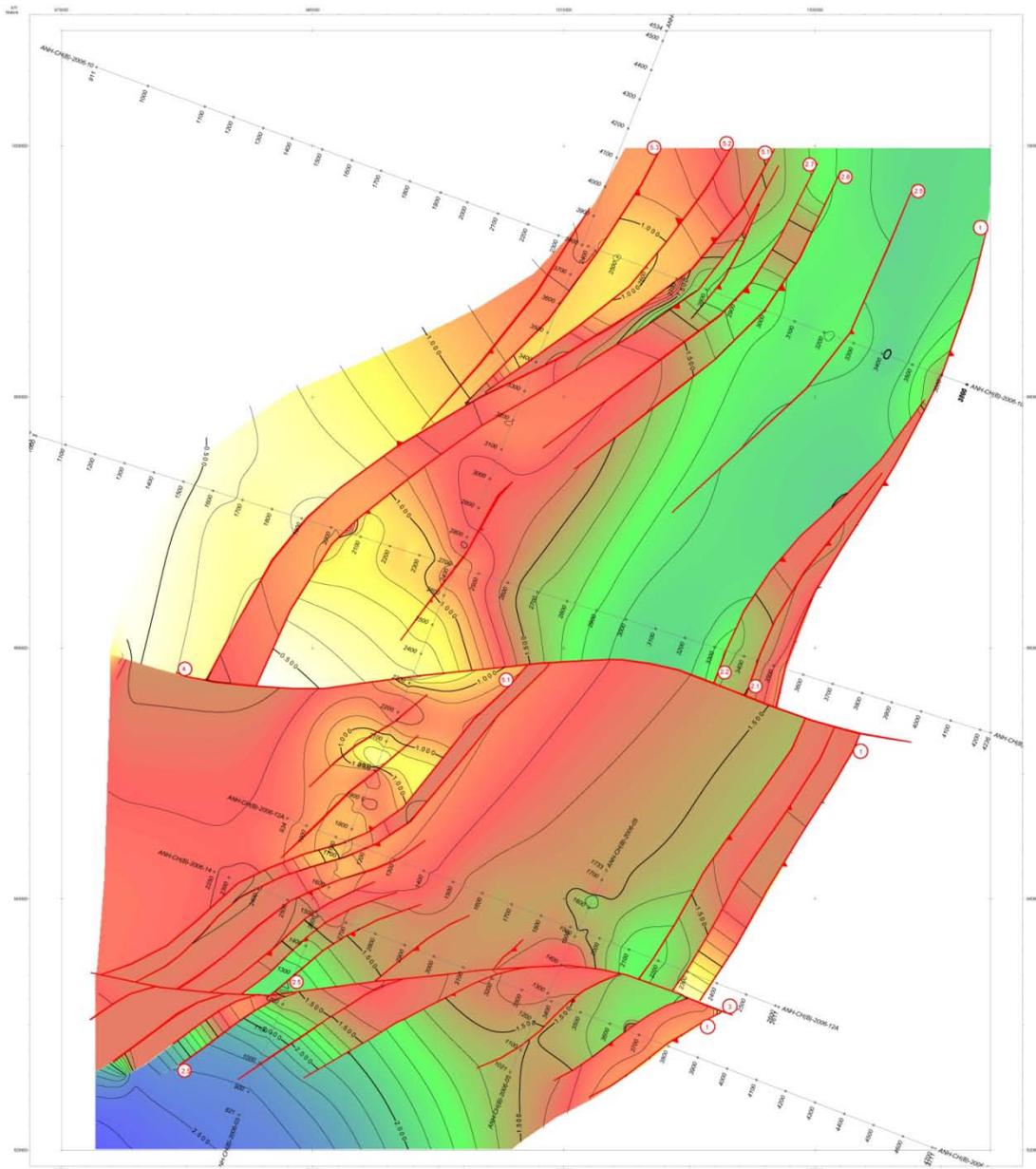


Figura 21. Mapa estructural de Eoceno Medio TWT IC: 100 ms. Datum: 500 msnm

3.3.4. Mapa estructural en tiempo migrado tope de la Formación La Sierra

Mapa isócrono mostrando mayor acumulación de sedimentos en el sinclinal y la serie de fallas inversas del sistema de La Mojarra prácticamente no son cortadas a éste nivel. Su máxima profundidad alcanza los 1.5 segundos en su parte más profunda y solamente son visibles las fallas transversales 3 y 4, de dirección Oeste – Este (Figura 22).

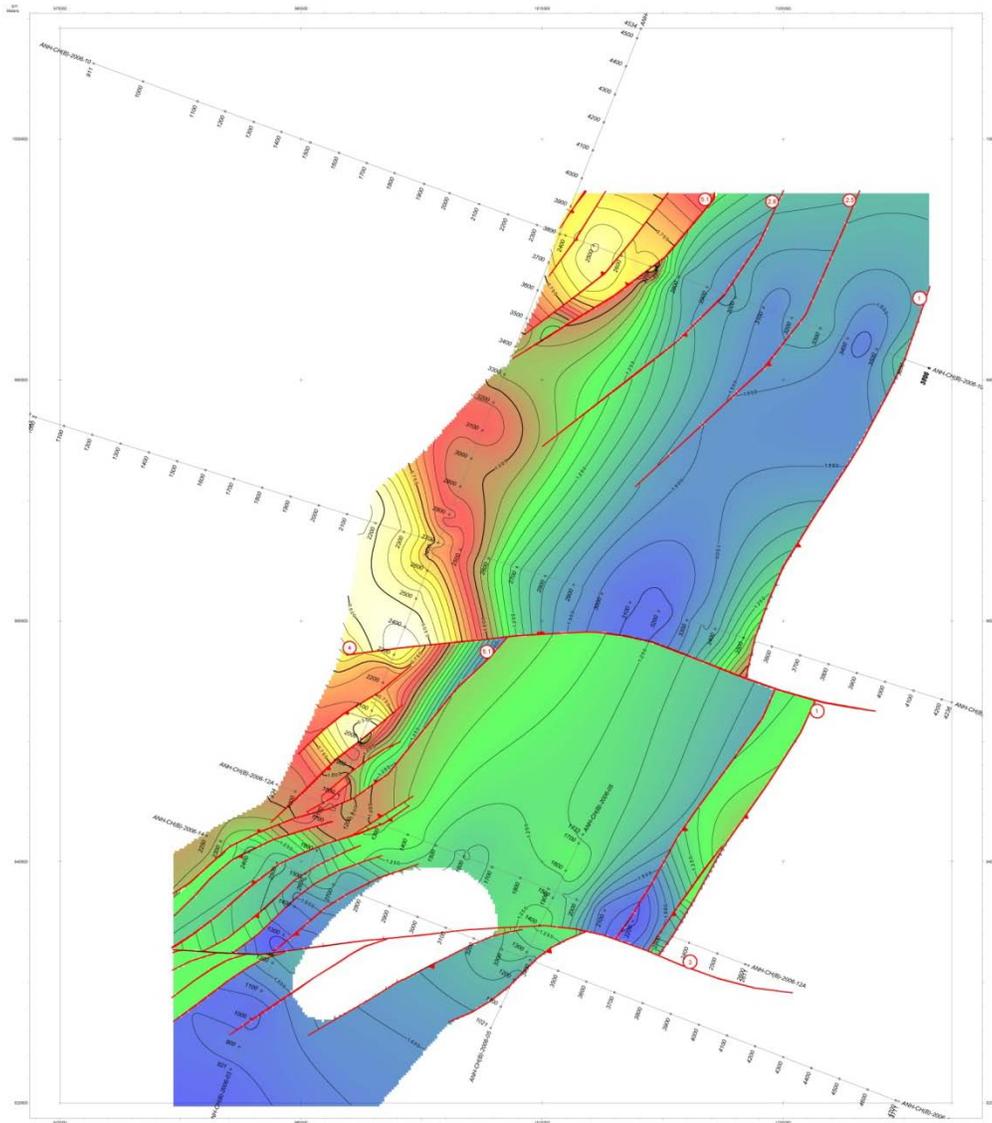


Figura 22. Mapa estructural de la Formación La Sierra TWT IC: 50 ms. Datum: 500 msnm

3.3.5 Mapa Estructural en tiempo migrado tope de la Formación San Juan

El mapa isócrono muestra que a ésta someridad las fallas inversas de dirección predominantemente noreste van desapareciendo y solo se mantiene el plegamiento regional. Se mantiene la traza de las fallas de Málaga y San Juan de carácter transversal y la falla de transpresión denominada Falla del Pacífico (Nro. 5.1, Figura 23), se observa cómo es cortada por la Falla de San Juan (Nro. 4, Figura 23), lo cual se puede visualizar den el mapa isócrono tope de la Formación San Juan Escala 1:100.000.

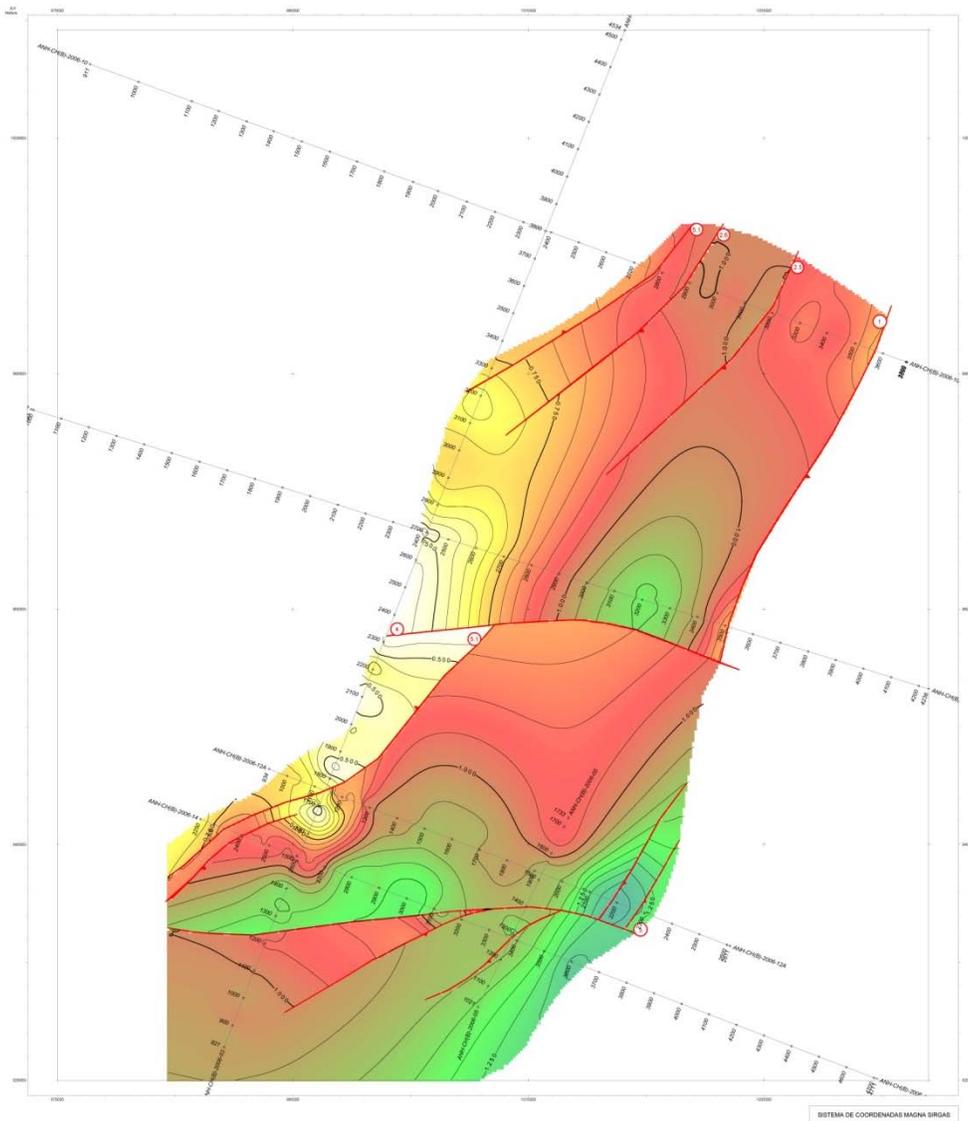


Figura 23. Mapa estructural Tope del Grupo San Juan TWT IC: 50 ms. Datum: 500 msnm

3.3.6. Mapa Estructural en tiempo migrado base de la Formación Raposo

Mapa isócrono fundamentado con base en un par de reflexiones de gran amplitud y su distribución se encuentra en la zona principal del sinclinal de La Mojarra y definidas hasta 0.800 segundos, tanto al norte como al sur, y 0.550sg donde está transportado el bloque central por fallas Oeste-Este.

Su distribución está dada en la franja Norte-Sur y no se encuentra afectado por las fallas denominadas de La Mojarra, tampoco la falla de cabalgamiento de la cordillera afecta la formación.

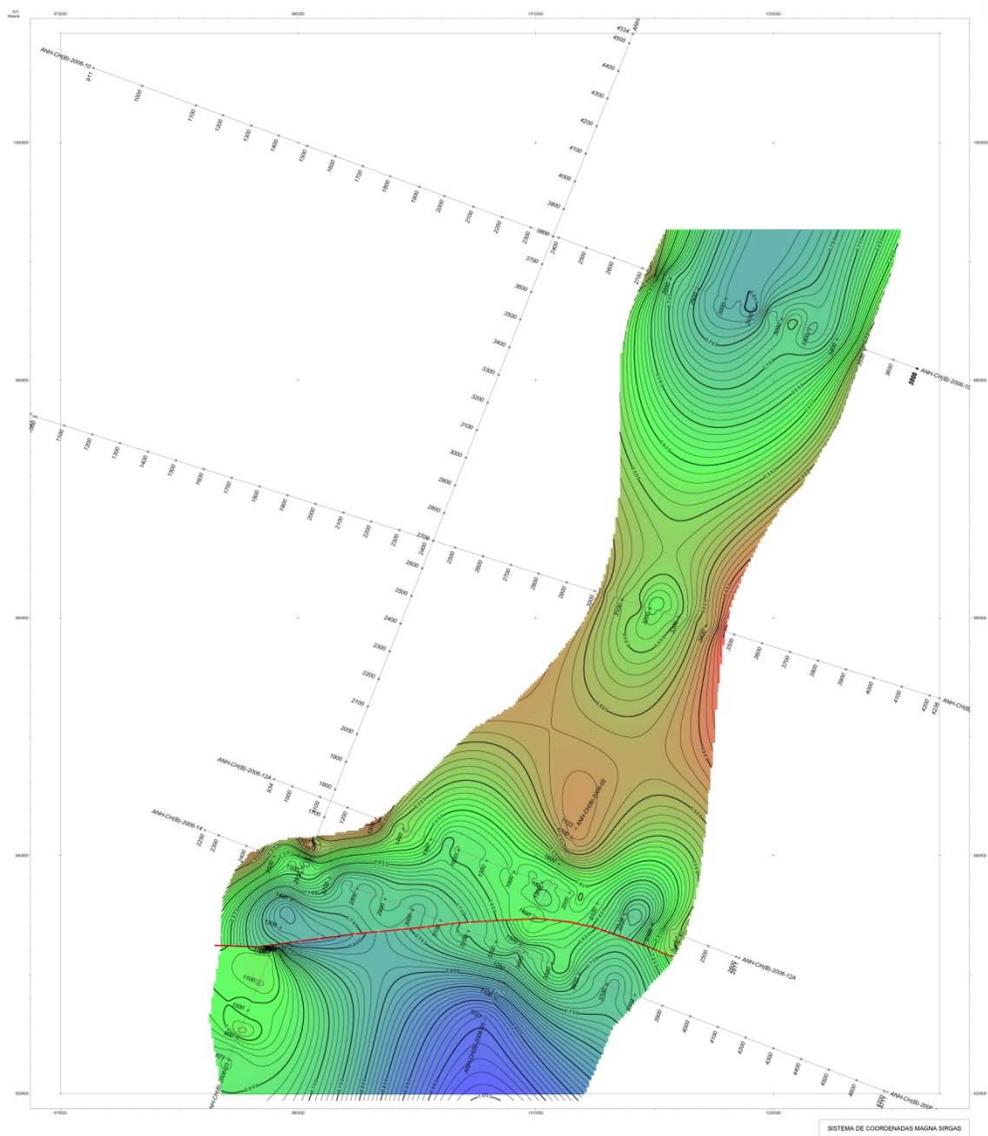


Figura 24. Mapa estructural Base Raposo-Mayorquín TWT IC: 10 ms. Datum: 500 msnm

3.4. Mapas en profundidad tomados de secciones migradas post-apiladas

3.4.1. Mapa Estructural de Basamento

El mapa corresponde a la base de la columna sedimentaria, el área cubierta por éste horizonte corresponde a un límite entre rocas de basamento de tipo ígneo y metamórfico con rocas sedimentarias que suprayacen el conjunto de rocas sin ningún tipo de respuesta con continuidad lateral o de contrastes.

La cartografía definida para éste mapa muestra la “falla de piedemonte” en el dominio estructural del E, referenciada como Nro. 1 dentro de la nomenclatura del mapa (Figura 25); es una falla de alto ángulo que separa la serie de sedimentos descritos dentro de la superposición estratigráfica local de los levantamientos de basamento de la cordillera.

El sistema de fallas de La Mojarra se encuentra inmediatamente al occidente y semiparalela a la falla de piedemonte y afectan principalmente a la base de la secuencia misma, desde el basamento hasta la discordancia del Eoceno.

El mapa muestra la afectación tectónica que han generado las Fallas de Málaga (Falla No. 3, Figura 25), de dirección Oeste-Este y la Falla de San Juan (Falla No. 4, Figura 25), en la misma dirección, pero de trazo más al norte.

El Sistema de Fallas del Pacífico (Nro. 5, Figura 25) es otro de los que afectan el basamento y tienen una dirección suroeste-noreste y ponen en contacto rocas de la base del Cretáceo - Cenozoico con diapiros de lodo en la parte occidental del área de estudio, ellos son transportados desde el suroccidente del área hasta el norte y occidente de la sección ANH-CH (B)-2006-10.

La mayor profundidad del basamento alcanza 16.000 pies, en donde el sinclinal tiene su máxima subsidencia (Sección ANH CH (B) 2006- 12 de color azul). La mayor someridad del basamento está a 5.000 pies.

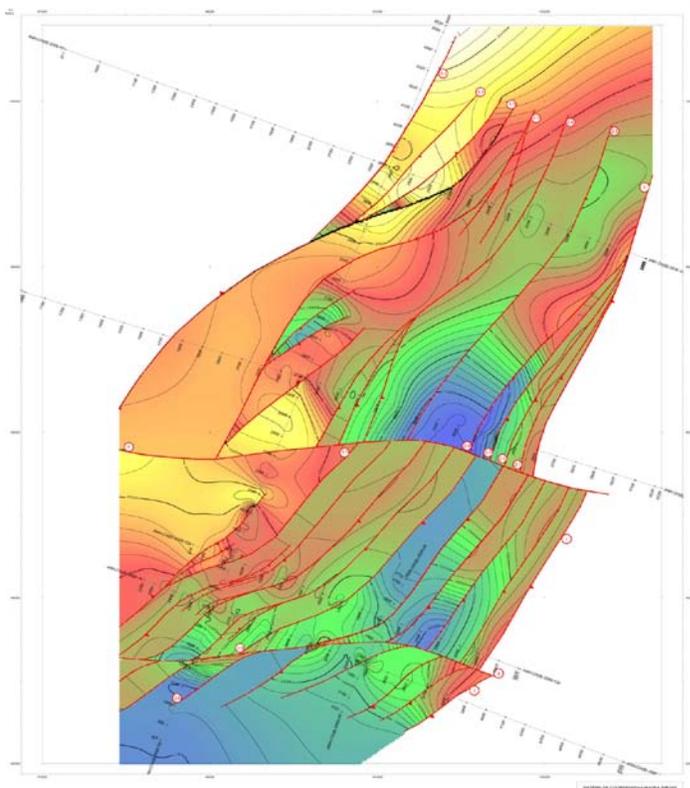


Figura 25. Mapa estructural de basamento IC: 500 pies

3.4.2. Mapa Estructural Cretáceo -Paleoceno

El mapa estructural en profundidad del Cretáceo-Paleoceno está afectado por los cinco sistemas de fallas: Falla de Piedemonte (1), Fallas del Sistema de La Mojarra (2), Fallas transversales de Málaga (3), de San Juan (4) y finalmente de las fallas de rumbo o de transpresión del Pacífico que ponen en contacto diapiros al occidente con sedimentos del oriente formando las megaestructuras de Nóvita y la Mojarra-Buenaventura, Anticlinal y Sinclinal respectivamente

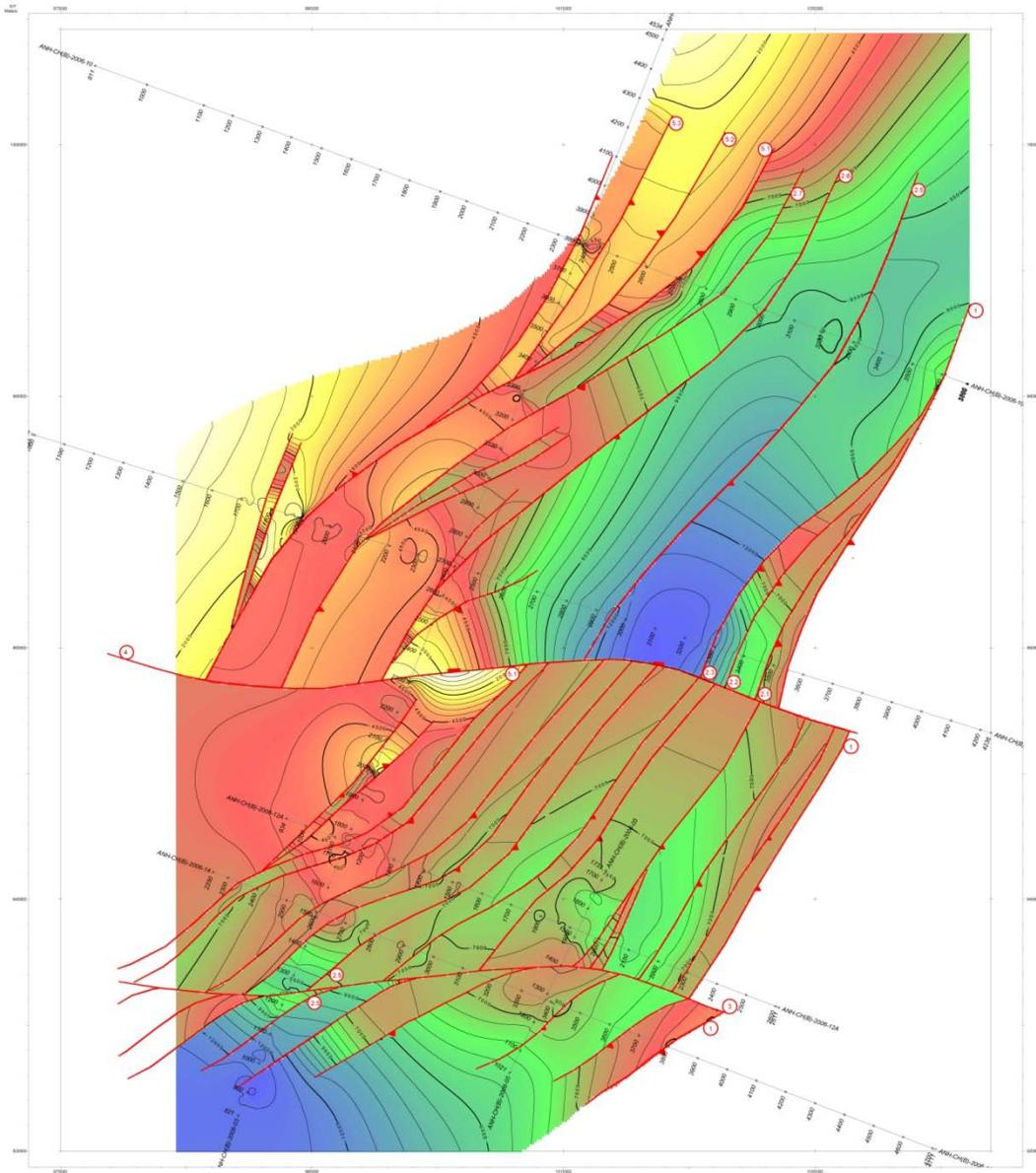


Figura 26. Mapa estructural Cretáceo - Paleoceno IC: 500 pies

3.4.3. Mapa Estructural del Eoceno Medio

Las rocas de la discordancia del Eoceno y rocas preexistentes a ella muestran estar afectadas por pliegues y fallas; en el mapa se observa que son afectadas por los cinco sistemas de fallas ya descritos: La falla de piedemonte, las fallas de La Mojarra que afectan principalmente la zona del sinclinal, fallas de trazo transversal –Málaga y San Juan- y las fallas del Pacifico de carácter transpresivo.

La profundidad máxima de la discordancia en el sinclinal alcanza 13.000 pies en el eje del sinclinal (Secciones ANH CH (B)-2006-12 y el sur de la línea ANH CH (B)-2006-03.

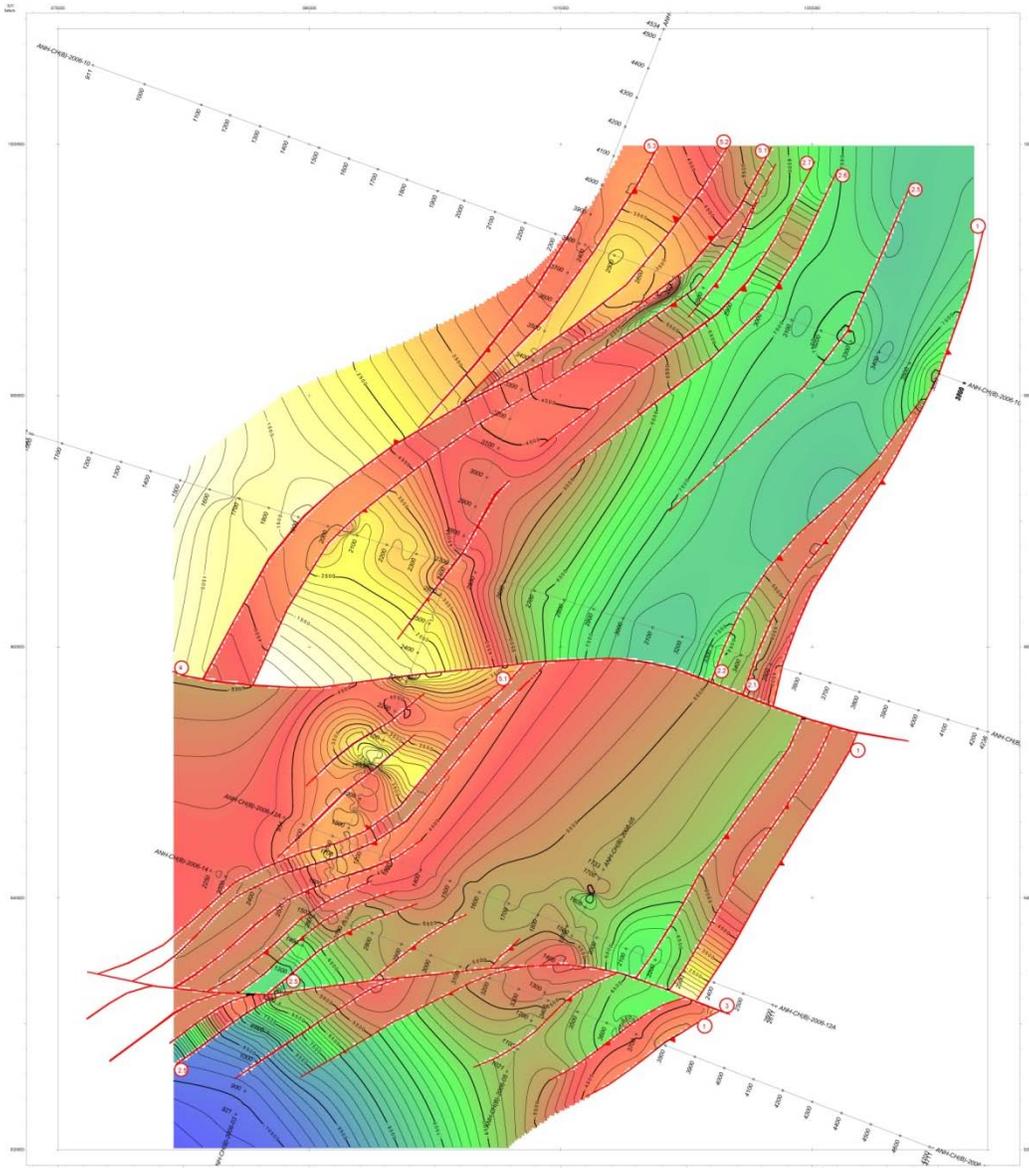


Figura 27. Mapa estructural del Eoceno medio, IC: 200 pies

3.4.4. Mapa Estructural tope de la Formación La Sierra

Las principales estructuras del tope de la Formación La Sierra son: La falla de piedemonte, las fallas transversales de Málaga y San Juan y las Fallas principales de transpresión, el Sinclinal de La Mojarra y el Anticlinal de Nóvita. La máxima profundidad alcanza el

horizonte mapeado a 5.200 pies el horizonte mapeado. Su someridad está cerca de los 1.000 pies.

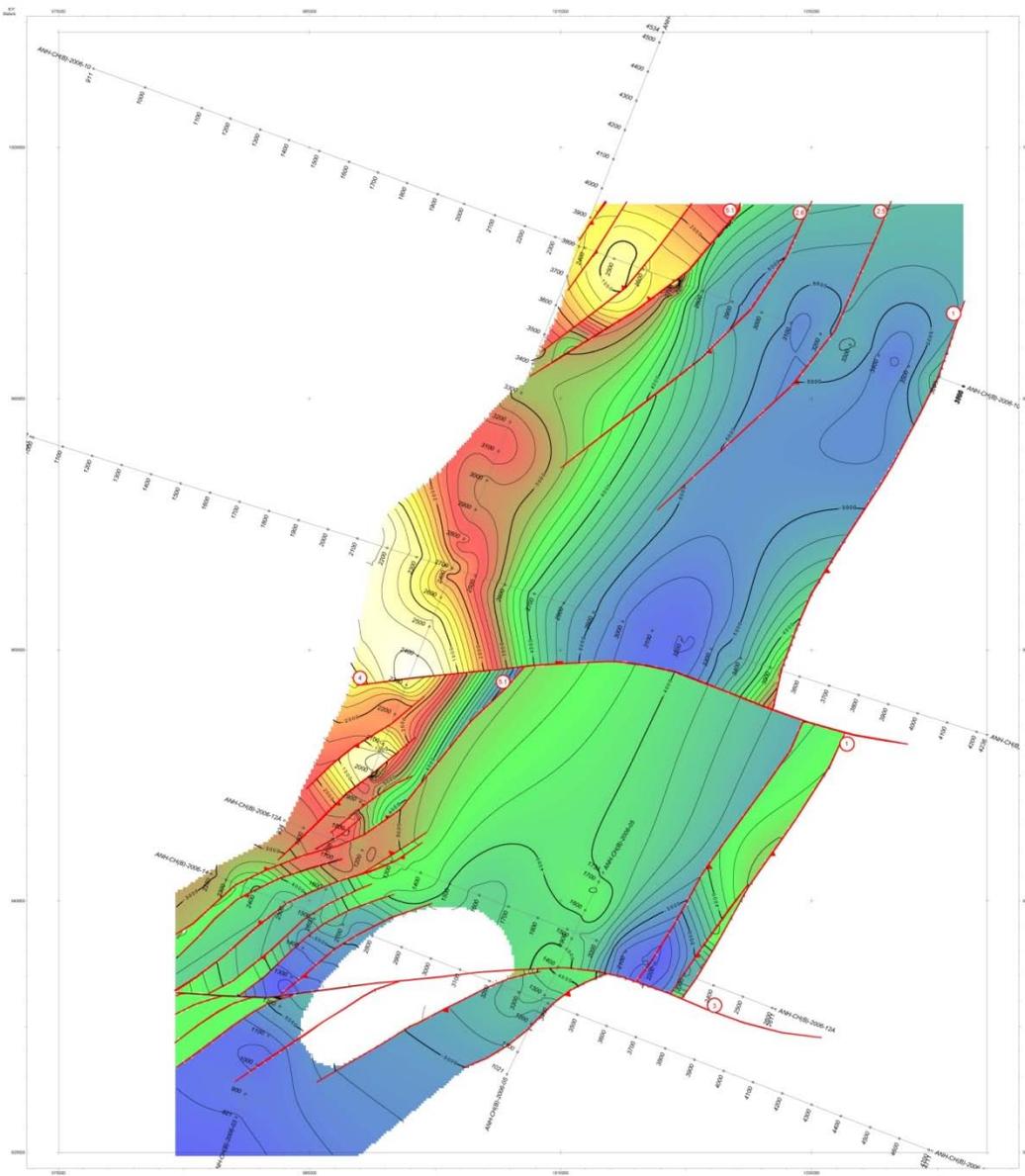


Figura 28. Mapa estructural de la formación La Sierra. IC: 200pies

3.4.5. Mapa Estructural tope del Grupo San Juan

La falla de piedemonte y fallas transversales predominan en la cartografía del mapa del tope del Grupo San Juan. Algunos rasgos de los trazos de fallas de transpresión están presentes en la parte noroccidental.

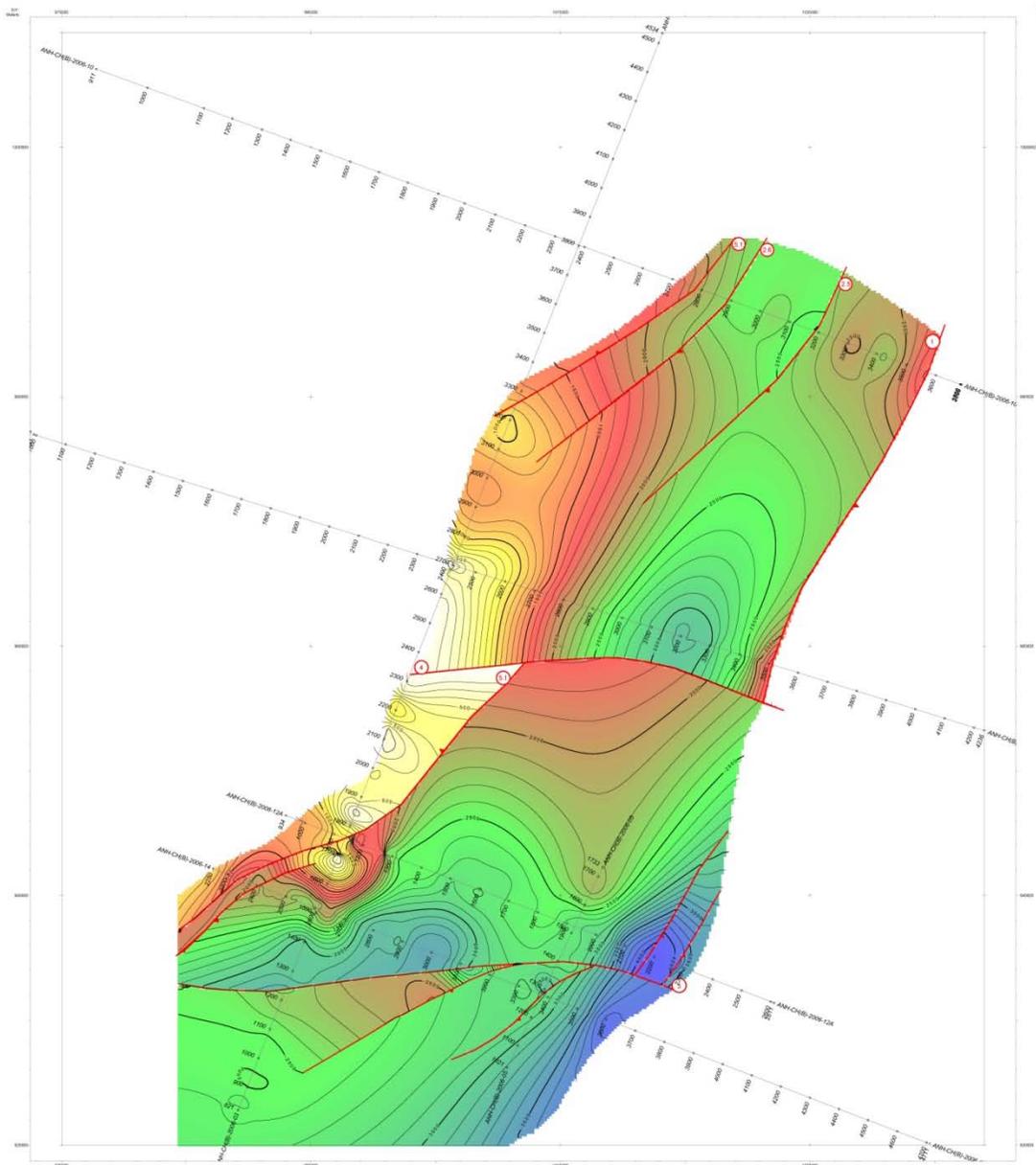


Figura 29. Mapa estructural tope del Grupo San Juan. IC: 100 pies

3.4.6. Mapa Estructural Base Formación Raposo

El tope de La Formación Condoto, definido aquí como la base de las Formaciones Mayorquín-Raposo no está afectado por fallas de algún sistema y por ser un horizonte cercano a superficie se acopla a las condiciones del eje del sinclinal de La Mojarra-Buenaventura. Es importante recalcar la única falla que afecta las rocas Base de Raposo - Mayorquín: la Falla Málaga (No3, Figura 30).

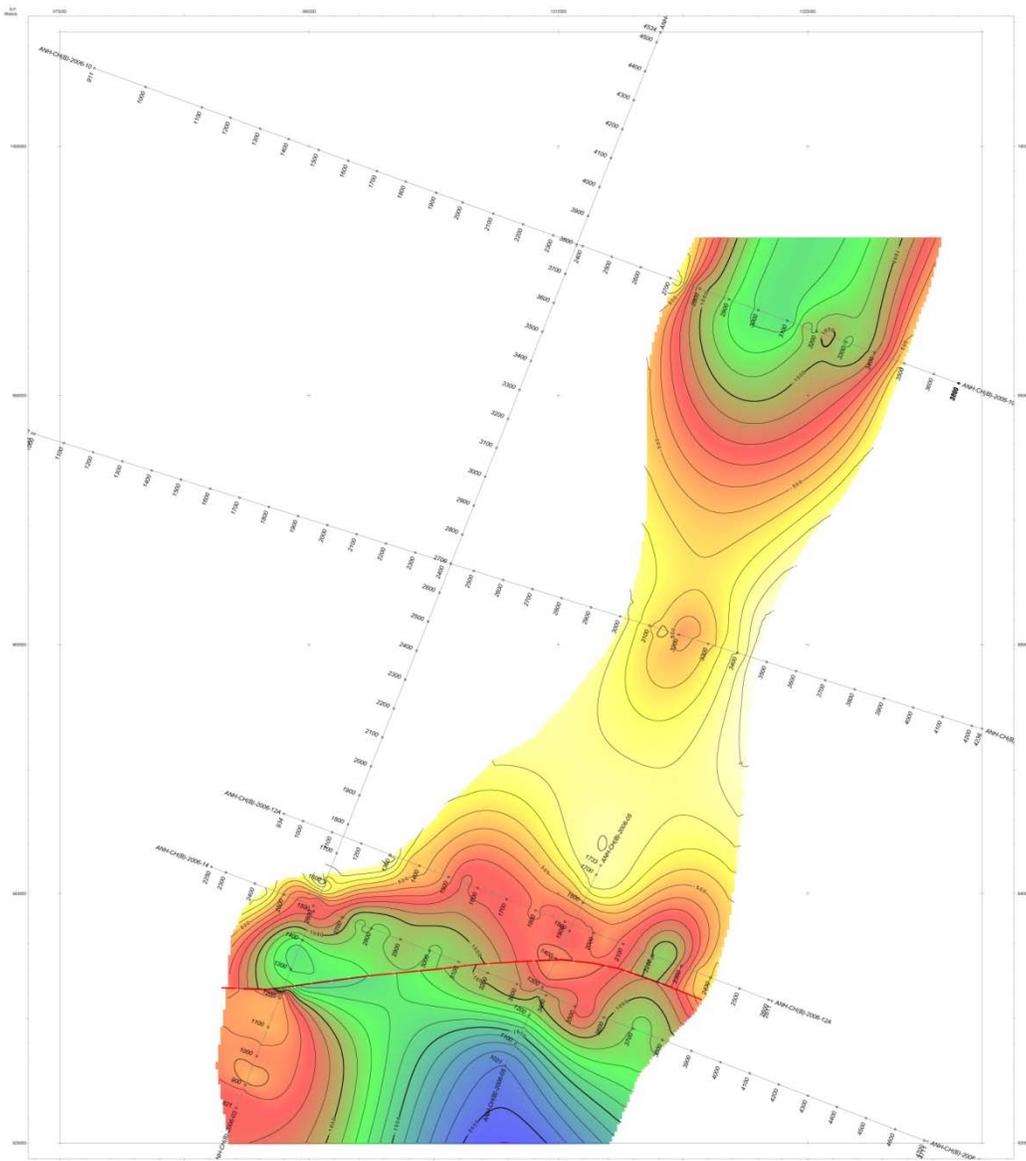
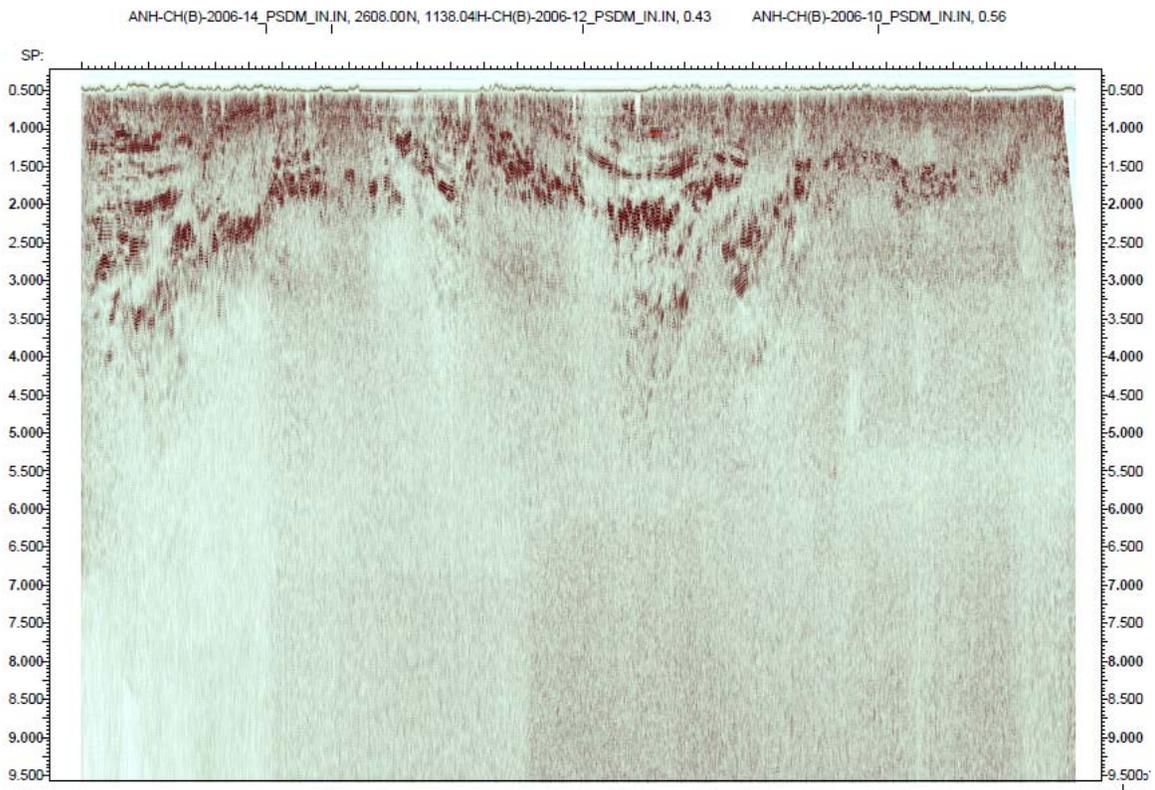
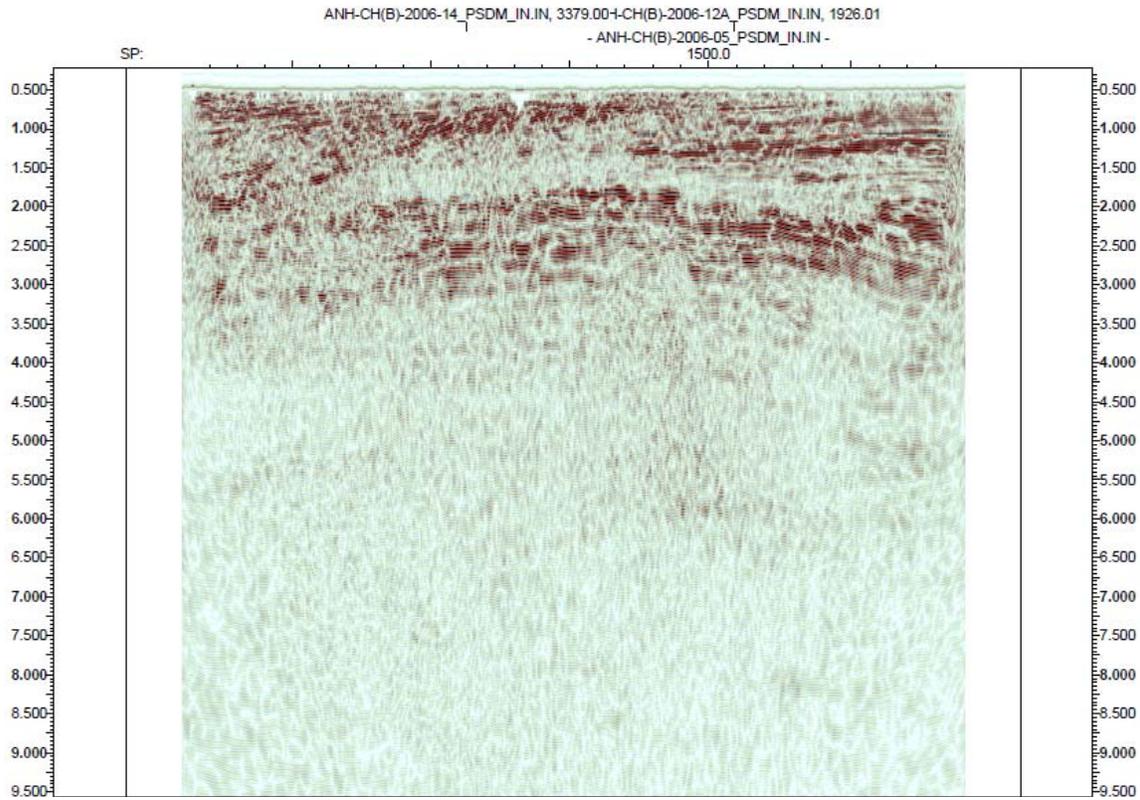


Figura 30. Mapa estructural Base de la Formación Raposo IC: 100 pies

SECCIONES PRE-STACK DEPTH MIGRATION -PSDM-

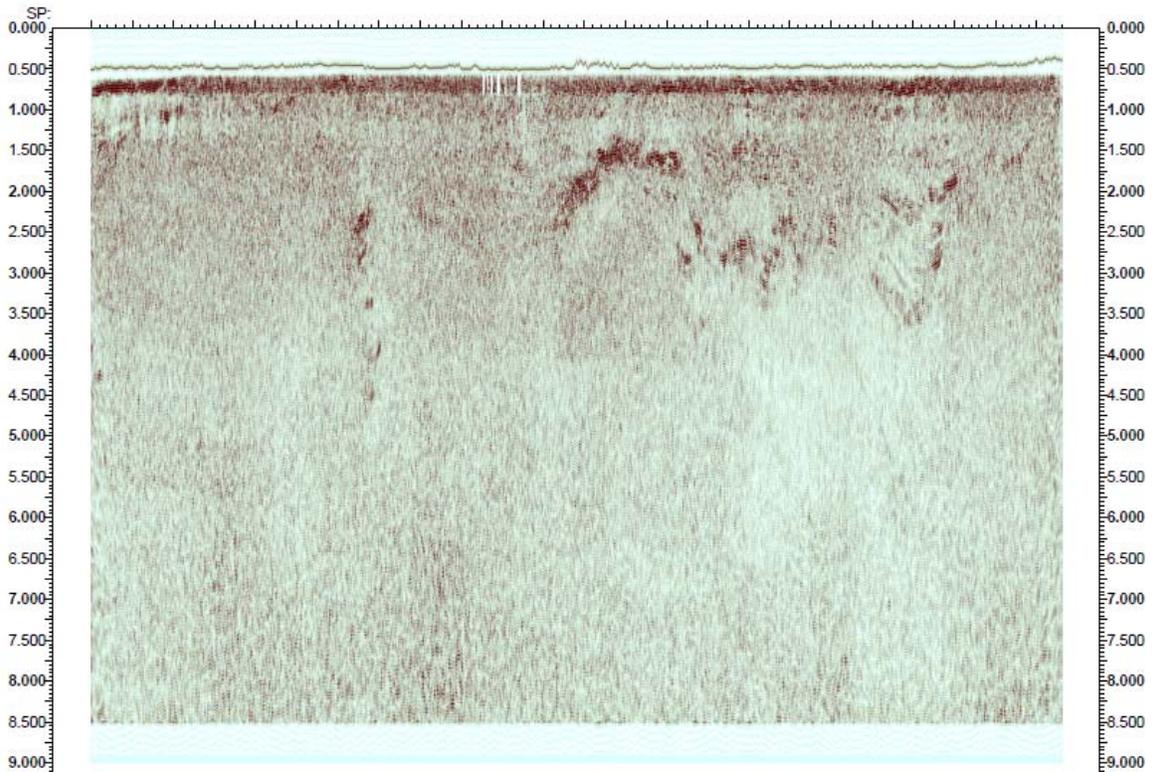


Sección ANH-CH(B)-2006-03 PSDM



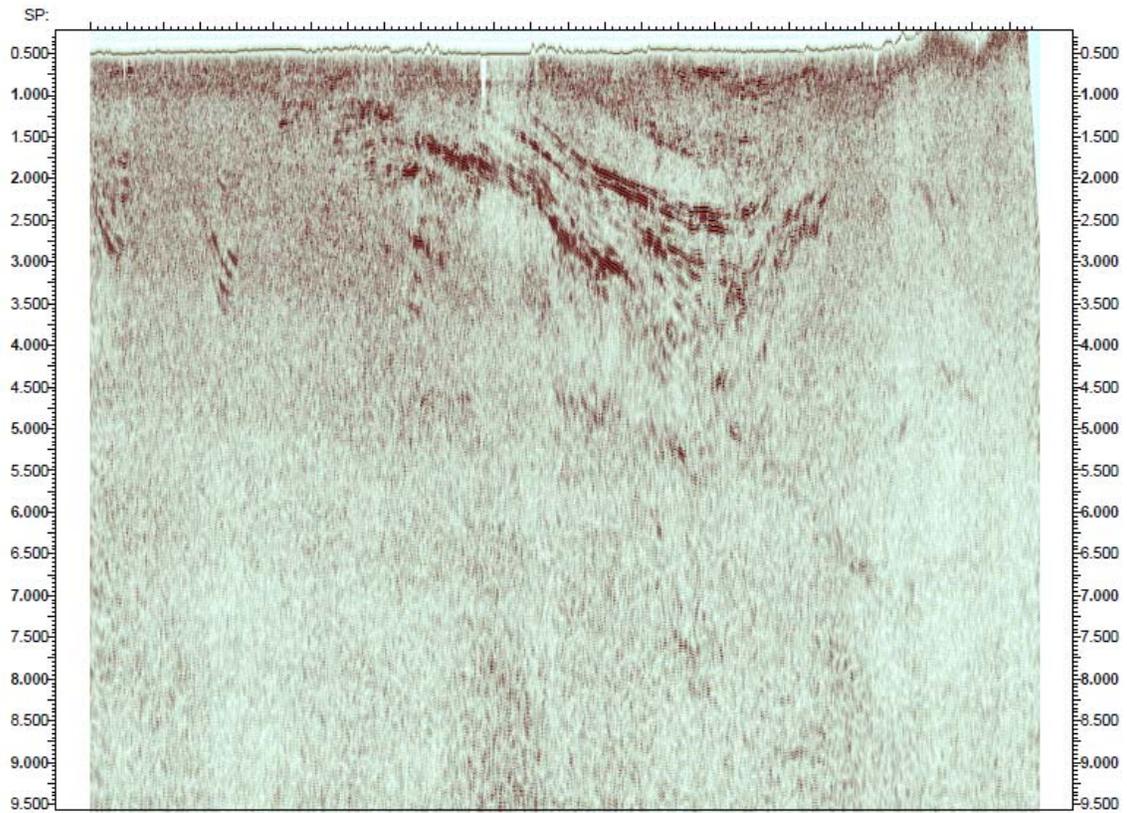
Sección ANH-CH(B)-2006-05 PSDM

ANH-CH(B)-2006-03_PSDM_IN.IN, 0.80

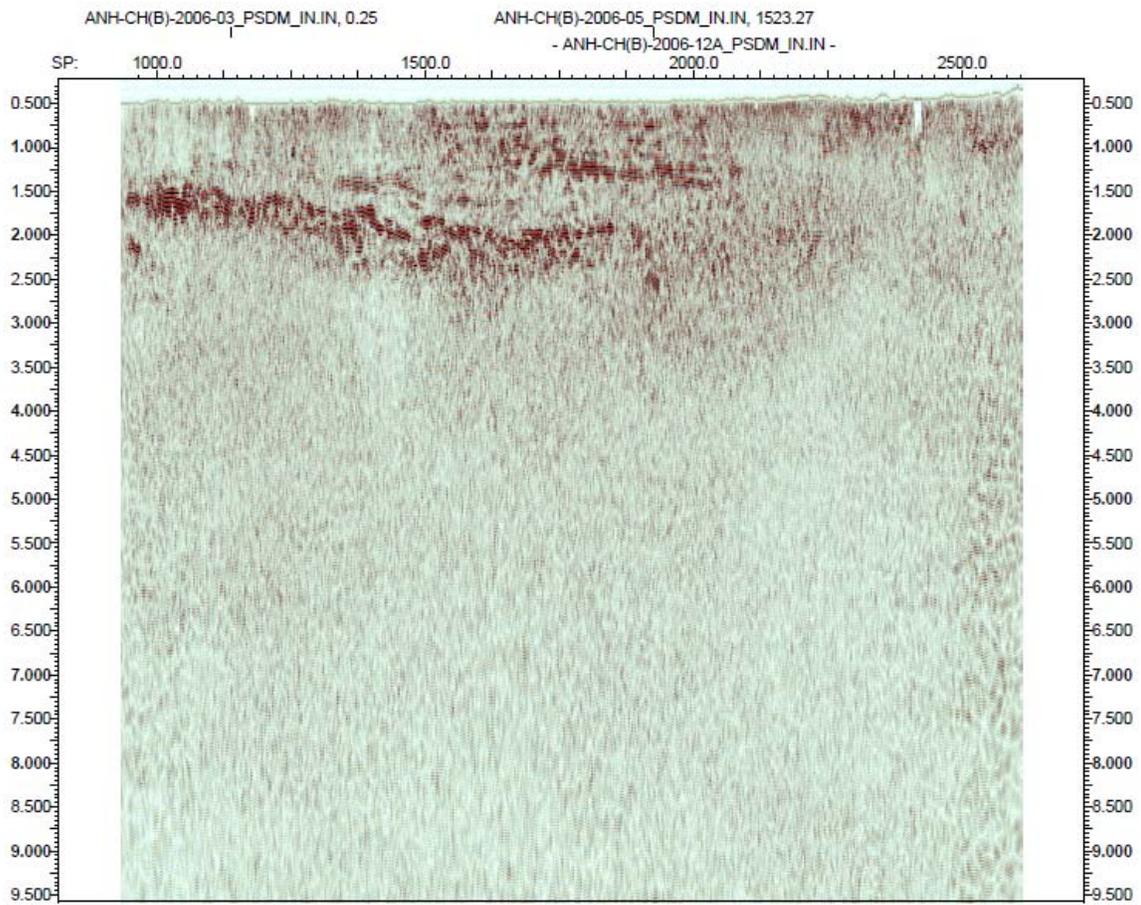


Sección ANH-CH(B)-2006-10 PSDM

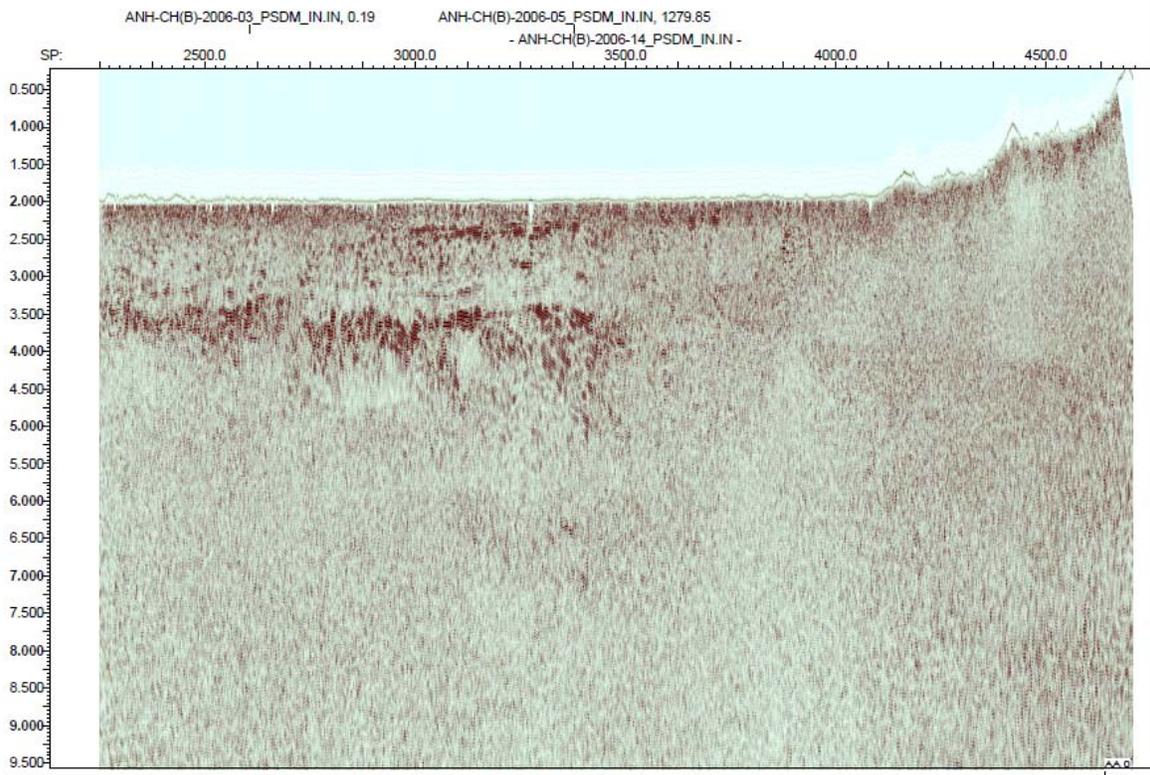
ANH-CH(B)-2006-03_PSDM_IN.IN, 0.51



Sección ANH-CH(B)-2006-12 PSDM



Sección ANH-CH(B)-2006-12A PSDM



Sección ANH-CH(B)-2006-14 PSDM

4. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

Para la Subcuenca San Juan, las condiciones sedimentarias registradas en la secuencia muestran que las rocas con mayores posibilidades de generación de hidrocarburos son las cretáceas, no obstante que en algunos sectores están profusamente intercaladas con rocas volcánicas principalmente al oriente sobre la zona levantada por fallas de bajo ángulo.

La secuencia Cenozoica, por ser de naturaleza turbidítica posee un alto contenido de materia orgánica húmica, estas propiedades catalogan la secuencia como potencialmente generadora de gas.

El desarrollo tectónico de la cuenca permite catalogarla como protogeneradora desde el punto de vista geotérmico. El gradiente geotérmico del área, con base en la información de los pozos perforados, Tambora-1 y Sandi-1, se calcula en promedio de 0.85 °F/100ft (García & Prince, 1982).

Bajo éste punto de vista las rocas del Cenozoico Basal (Formación Iró) requieren un enterramiento entre 14.500ft y 24.700ft, rango dentro del cual se obtiene la generación de hidrocarburos, mientras que rocas cretácicas requieren enterramientos entre 14.000' y 20.000' según los conceptos de Dow (1978). Para rocas del Eoceno la ventana de generación se ubica entre 170 y 300 °F, mientras que las rocas del Cretáceo requieren de 150° a 270 °F.

El entrapamiento se encuentra especialmente favorecido, en esta área, debido a la mecánica de la sedimentación turbidítica. Solamente deben identificarse los sectores limpios de los desarrollos arenosos, combinada ésta propiedad con una situación estructural favorable pero distante de lineamientos de fallas de rumbo o transpresionales.

De acuerdo con la evolución tectónico-estructural de la cuenca, las mejores posibilidades se ubican al este, asociadas con Alto de Nóvita o llamado también de Istmina y debajo de la falla de cabalgamiento de las rocas antiguas de la Cordillera Occidental, sobre el flanco oriental del gran Sinclinal de La Mojarra.

Dado el suave plegamiento en la subcuenca, originado por esfuerzos compresionales desde occidente, se han originado numerosas cuencas colgantes, localizadas sobre la proto-Cordillera del Pacífico, y separadas del continente por altos paleogeográficos. Allí la influencia turbidítica es limitada y el contenido de materia orgánica de origen marino es mayor, lo cual permite catalogarla como cuenca generadora.

La información geoquímica adquirida junto con el registro sísmico del programa Chocó-Buenaventura 2D 2006, en la cual se hizo un muestreo de sedimentos, presenta excelentes resultados y muestra la presencia de hidrocarburos en el área de estudio y refleja la salida de gases por las zonas de fallas que tienen incidencia en toda la serie afectada por dichas fallas geológicas (ver líneas sísmicas en copia dura y su análisis y anomalías geoquímicas, en el Informe de Geoquímica).

4.1. Roca generadora

En la subcuenca San Juan se proponen dos fases principales de generación de hidrocarburos:

La primera fase ocurrió antes del evento de estructuración del pre-Eoceno medio a superior, durante la cual, volúmenes de crudo fueron generados de las rocas madres provenientes de las rocas cretácicas. Este petróleo migró hacia los márgenes de la cuenca y podría estar conservado en trampas estructurales.

La segunda fase ocurrió durante el Mioceno y si bien es más localizada, podría haber cargado trampas formadas durante el Oligoceno.

La formación La Sierra de edad Oligoceno y la Formación Iró del Paleoceno contienen rocas generadoras que cargarían los reservorios en un trayecto corto después de su enterramiento a más de 17.000 pies en las areniscas depositadas, on lap, sobre una superficie discordante y dentro de la misma secuencia clástica.

El depocentro de la cuenca está constituido por arcillolitas, calizas y lodolitas, con un contenido de materia orgánica que según estudios geoquímicos en la cuenca alcanzan un TOC de 3.5.

Éstos sedimentos finos alcanzaron tales grados de madurez, que permitieron la generación y expulsión de hidrocarburos predominantemente gas, a partir de la mismas rocas madres submaduras a maduras.

La cuenca es de tipo convergente, formada por rocas plegadas y acrecionadas durante el Cenozoico entre dos placas.

4.2. Generación y migración

En el área de San Juan el petróleo y más probablemente el gas, migraron hacia el oriente a partir de la cocina formada debajo de las fallas del Pacífico para cargar las estructuras del Oligoceno y Mioceno de la subcuenca. Igualmente, se habrían cargado las estructuras por debajo del cabalgamiento del flanco oeste la Cordillera Occidental.

De acuerdo al estudio realizado en la Subcuenca San Juan, se encuentran rocas generadoras de hidrocarburos como calizas y lutitas del Cretáceo, la Formación Sierra y la parte inferior del mismo Grupo San Juan (Formaciones Istmina, La Mojarra y Condoto). En gran parte de la subcuenca San Juan estas formaciones han logrado suficiente madurez para expulsar hidrocarburos y han alcanzado la madurez suficiente por debajo del cabalgamiento de la Cordillera Occidental y al Occidente del área, en zonas con espesores importantes que generan cantidades apreciables de hidrocarburos.

Estructuras anticlinales que permiten la acumulación de hidrocarburos, se encuentran asociadas a fallas inversas, en donde las trayectorias de migración también han estado entre ellas y paralelas al borde cordillerano.

Fallas de transpresión y de rumbo con dirección suroeste - noreste y oeste-este, podrían conservar cerradas las estructuras.

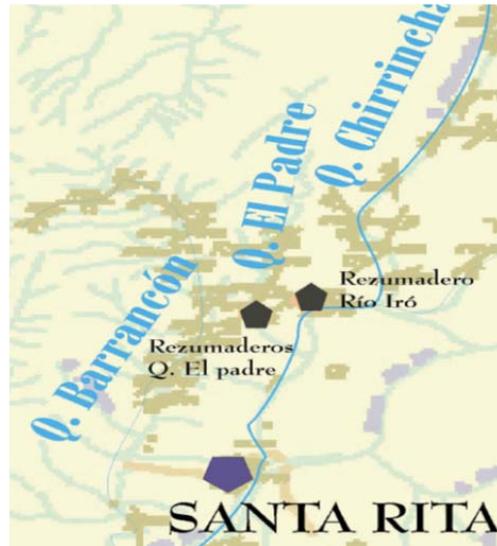


Figura 31. Rezumaderos reportados

4.3. Rocas Almacenadoras

Areniscas de la Formación La Sierra y rocas calcáreas fracturadas de las formaciones del Cretáceo y del Mioceno, son las rocas potencialmente favorables para contener hidrocarburos en la Subcuenca.

Depósitos correspondientes a paleodeltas del río San Juan, permiten entrampamientos de tipo estratigráfico.

4.4. Rocas Sello

Lutitas y lodolitas de las formaciones cretácicas que suprayacen areniscas y carbonatos, son los sellos importantes en el área. La discordancia es uno de los eventos que podría dejar sedimentos finos sobre las estructuras anticlinales.

Las rocas calcáreas son generadoras, almacenadoras y sello en la serie sedimentaria dentro de las potenciales estructuras almacenadoras de hidrocarburos.

4.5. Sincronismo

El sincronismo relativo entre la generación de gas y la formación de trampas es crucial. Las estructuras formadas durante el Plioceno tienen pocas posibilidades de contener hidrocarburos por haber sido posteriores a la generación de petróleo y gas. Las

estructuras formadas durante el Oligoceno pueden haber sido cargadas durante el Mioceno, pero corren el riesgo de haber sido destruidas durante el Plioceno. Estructuras de edad Cretáceo-Paleoceno se consideran favorables para explorar siempre que estén distales de las fallas transpresivas y transversales si su objetivo es clástico, pero serían tenidas en cuenta y asociadas a éstas, si su objetivo es carbonatico.

5. AREAS DE INTERÉS EXPLORATORIO

Se ha definido un área de interés prospectivo, teniendo en cuenta una estructura combinada al occidente del Sinclinal de la Mojarra, considerando un levantamiento estructural contra una falla inversa de inclinación oriental, la cual repite la secuencia cretácica y permite encontrar areniscas y calizas del Cretáceo – Paleoceno contra arcillas suprayacentes que se encuentran también lateralmente cerrando una estructura favorable.

La consecución de un punto para ser perforado, muestra un pozo hipotético “La Mojarra-1” que estaría localizado en el SP 2425 de la línea ANH-CH (B)-2006-12 y alcanzaría los siguientes objetivos:

Grupo San Juan	-166 ft
Formación La Sierra	-1755 ft
Discordancia del Eoceno	-3950 ft
Tope Cretácico	-4850 ft
Basamento	-7100 ft

Esta es una opción con un programa sísmico de detalle previo a dicha exploración con taladro.

Un pozo estratigráfico denominado Niche-1 en el punto 3100 de la misma línea, definiría el espesor de la columna sedimentaria hasta encontrar el basamento cristalino a una profundidad de 15.818 ft encontrando el máximo espesor de las secuencias y sus horizontes definidos en la interpretación del presente estudio.

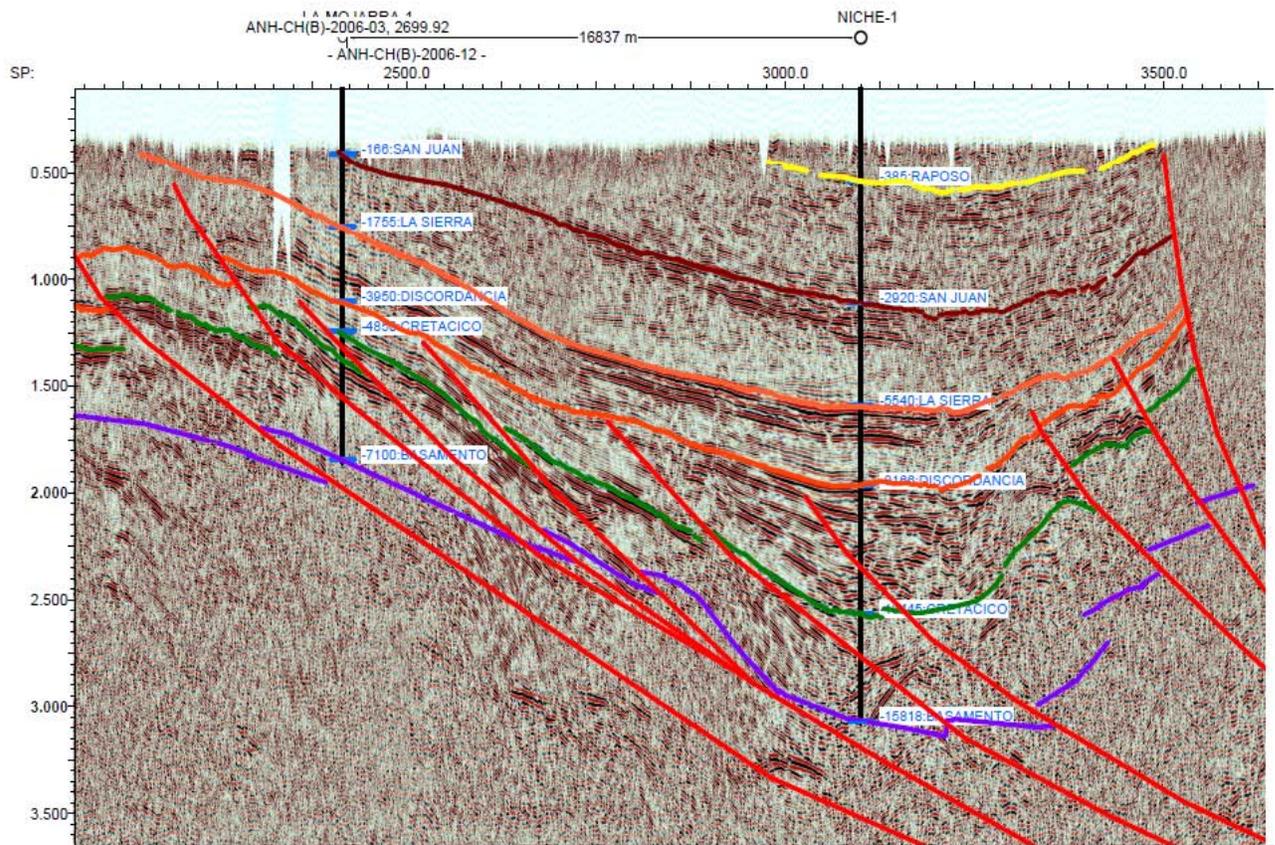


Figura 32. Perfil sísmico con áreas de interés

6. CONCLUSIONES

La información sísmica permitió definir seis horizontes que reflejan características litológicas y a su vez topes formacionales y eventos de interés que fueron mapeados, los cuales se definieron como Basamento, Tope Cretáceo-Paleoceno, Discordancia, Tope Formación La Sierra, Tope Grupo San Juan y finalmente Base de la Formación raposo.

Cuatro dominios estructurales se identificaron y, se muestran en los diferentes mapas levantados a partir de los perfiles sísmicos: 1) Levantamiento cordillerano al oriente. 2) La megaestructura sinclinal de La Mojarrá-Buenaventura mostrando depocentro y subsidencia con la mayor profundidad del basamento que alcanza 16.000ft, en donde el sinclinal tiene su máxima expresión. 3) Fallamiento transversal con transporte tectónico hacia el oriente con fallas de desplazamiento horizontal, y presencia de fallas transpresionales del sistema de fallas del pacífico, y finalmente, 4) Diapirismo en la parte occidental del área.

El modelo geológico del subsuelo se obtuvo con información geofísica de gravimetría, magnetometría y sísmica, para el cual se asumieron profundidades de acuerdo con los pozos perforados en la cuenca.

El conocimiento y la determinación de factores de riesgo como la distribución de la relación arena/arcilla y la identificación de la orientación de los principales esfuerzos, son la base para obtener oportunidades exploratorias en el área. Este estudio permite focalizar los principales esfuerzos en una porción de la subcuenca del río San Juan con la definición de los dominios estructurales al norte y este de Bahía Málaga.

Fallamientos inversos y fallas de transpresión y un potencial entrapamiento por yuxtaposición de litologías identifican en el subsuelo un potencial hidrocarburífero que genera buenas expectativas de exploración en la subcuenca.

Del espesor de la columna sedimentaria en la subcuenca y su enterramiento, se concluye la generación anterior y reciente de hidrocarburos, porque existen además, estudios geoquímicos, según los cuales, hay altos contenidos de materia orgánica y la temperatura necesarias.

Las anomalías muestran que el origen de los hidrocarburos presentes es diagenético y termogénico.

En la subcuenca San Juan la depositación de sedimentos y rocas de origen químico-orgánico y la evolución tectónica corresponde a los eventos del Cenozoico más joven, Paleógeno superior y Neógeno.

Presión litostática, temperatura y materia orgánica fundamentales en la generación de hidrocarburos, se han evaluado en el área presentando excelentes estándares para la prospección de hidrocarburos.

Estructuralmente el área proporciona atractivo exploratorio pero el valor que mayor incidencia se contempla, es el estratigráfico, teniendo como base los continuos acuíferos existentes de las arenas al comienzo y final de las secuencias sísmicas, y

pinchamientos por cambios en las áreas de aportes y por consiguiente del tipo de material.

La subcuenca presenta atractivos exploratorios teniendo en cuenta los estudios geológicos, geoquímicos y de subsuelo que mostraron estructuras potencialmente favorables, con objetivos también estratigráficos y la existencia de hidrocarburos en superficie y en los pozos perforados.

Rocas almacenadoras clásticas, pero principalmente carbonáticas están presentes en la zona de estudio, rocas sello son el común denominador y la generación y migración de hidrocarburos se ha planteado en diferentes estudios.

Tabla N 1 SECUENCIA DE PROCESAMIENTO

1. CONVERSION DATOS SEG-Y AL FORMATO PROMAX	
2. ELABORACION Y ASIGNACION DE GEOMETRIA	
3. EDICION DE REGISTROS	
4. RECUPERACION DE VERDADERA AMPLITUD	CORRECCION POR DIVERGENCIA ESFERICA:1/TV2
5. DECONVOLUCION FASE MINIMA	TIPO: PREDICTIVA LONGITUD DE OPERADOR: 160-160 ms RUIDO BLANCO: 0.01-0.01 % NUMERO DE VENTANAS: 2 DISTANCIA DE PREDICCION: 16-24 ms
6. CALCULO Y APLICACION DE ESTATICAS POR REFRACCION	DATUM DE PROCESAMIENTO: 2000 m. VELOCIDAD DE REEMPLAZAMIENTO: 2400 m/s. ALGORITMO: DRM
7. ANALISIS DE VELOCIDADES PRIMER PASO	INTERVALO: CADA 1.25 km.
8. ESTATICAS RESIDUALES CONSISTENTES EN SUPERFICIE PRIMER PASO	TIPO: MAXIMUN POWER NUMERO DE ITERACIONES: 4 MAXIMA ESTATICA PERMITIDA: +/- 24 ms

TABLA 2 POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA

1. BUCHADÓ-1
2. CHAGUÍ-1
3. SANDI-1
4. TAMBORA-1
5. URODÓ-1
6. REMOLINO GRANDE-1
7. OPOGADÓ-1
8. MAJAGUA-1
9. NECORA-1
10. PACURITA-1
11. CHIGORODÓ-1
12. APARTADÓ-1
13. ESTRATIGRAFICO-1

Tabla 3 Tabla de velocidades de intervalo en tiempo doble

TIME	RMSV	INT
36	1945	
414	1991	1945
724	2047	2119
986	2137	2368
1655	2571	3102
2058	2936	4108
2328	3187	4677
2591	3425	5066
3166	3669	4611
4076	3886	4561
5923	4264	4998

TIME	RMSV	INT
33	2114	
428	2174	2179
986	2369	2508
1477	2632	3093
1927	2964	3858
2366	3286	4431
2788	3497	4500
3187	3657	4623
4116	3918	4705
5923	4264	4963

TIME	RMSV	INT
33	2100	
348	2177	2185
812	2375	2513
1409	2661	3007
2011	3097	3933
2904	3519	4321
3263	3668	4703
4096	3873	4589
5923	4264	5031

TIME	RMSV	INT
22	2023	
320	2149	2158
733	2356	2505
1548	2831	3199
1999	3092	3856
2421	3302	4155
2872	3485	4337
3382	3652	4478
4080	3879	4830
5923	4264	5012

DIAPIRO		
TIME	RMSV	INT
36	2075	
348	2205	2220
670	2411	2615
1259	2763	3115
1865	3115	3742
2394	3341	4038
2976	3524	4194
3502	3718	4666
4020	3890	4897
4598	4040	4959
5923	4264	4964

TIME	RMSV	INT
26	2100	
299	2226	2238
821	2514	2665
1384	2860	3300
2011	3207	3864
2429	3413	4267
2884	3591	4422
3482	3735	4363
3976	3863	4667
4642	4034	4933
5923	4264	5010

BIBLIOGRAFIA

Bueno S Rafael; Govea R Carlos, 1979. Potential for Exploration and Development of Hydrocarbons in the Atrato Valley and the Pacific Coastal and Shelf Basins of Colombia

Cossio, 2003. Geología de las planchas 201, 202, 221, 222..

DUNIA consultores, 2006. Cartografía Geológica de la Subcuenca Atrato-San Juan, Departamento del Chocó.

Duque-Caro H., 1990a. Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panamá sea way: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.

Duque-Caro H., 1990b. The Chocó block in the northwestern corner of South América: structural, tectonostratigraphic and paleogeographic implications: Journal of South American Earth Sciences.

Duque-Caro H., 1975. Los foraminíferos planctónicos y el terciario de Colombia: Revista Española de Micropaleontología

Duque-Caro H., 1971. On planktonic foraminiferal zonation in the Tertiary of Colombia. Micropaleontology, vol. 17, pp. 365-368.

ECOPETROL, 1985. Estratigrafía Registro Eléctrico Buchado-1.

ECOPETROL, 1988. The Biostratigraphy, Palaeoenvironments and Petroleum Geochemistry of the Buchado-1, Tambora-1 and Sandi-1 Wells, Pacific Coastal Region of Colombia, and Compared with the Previously Studied Remolino Grande-1 and Majagua-1 Wells.

Escobar J. H., 2002. Sequence Stratigraphy Depositional Model Iro Formation San Juan Basin with Base at the Seismic Line (SJ-81-1200).

Escobar J.H., 2001. Lower Iro Formation Stratigraphic Section Quebrada El Padre - Santa Rita Section.

Etayo F., et al., 1980. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Ingeominas.

Exploration & Production Information Services – ANH – Colombia. Pagina web www.epis.com.co

García, Carlos & Prince, Roberto, 1982. Interpretación sísmica de la Cuenca Pacífica costa afuera. Ecopetrol.

INGEOMINAS, 2005. Investigación Integral de la Geología Del Pacifico.

Muñoz Fernando y Cogollo Magda Lucía, 2000. Potencial Generador del Pacífico Colombiano – Cuenca San Juan Biocronología y Paleoambientes.

REPSOL, 1996. Informe Final Geología y Geofísica Contrato de Asociación Chocó Central.

Restrepo J. & Toussaint J., 1988. Terranes and Continental Accretion in the Colombian Andes.

Suárez Rodríguez M., 2007. Geological framework of the Pacific Coast sedimentary Basins, Western Colombia. *Geología Colombiana*

Suárez Rodríguez M., 1990. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Atrato 1990.

Suárez Rodríguez M., 1990. Cuenca del Atrato Sección Estratigráfica Regional.

Suárez Rodríguez M., 1990. Estudio Geológico Regional e Interpretación Sísmica Estratigráfica en la Provincia Sedimentaria de la Costa Pacífica.

TEXAS PETROLEUM COMPANY, 1989. Informe Geológico. Área de Asociación Istmina.

Vargas J. (Compañía Petrolera Latina INC), 1988. Geologic Section Atrato Sub Basin and San Juan -Tumaco Sub Basin.