



INTERPRETACIÓN PROGRAMA SÍSMICO 2D

SINU SUR 2008

Presentado por



Interpretado por Miryam Caro P.

Abril de 2009

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. INFORMACION UTILIZADA	5
2.1 Información sísmica.....	5
2.2 Información de pozo	7
2.3 Geología de superficie	10
3. CALIDAD INFORMACIÓN SÍSMICA.....	11
4. GEOLOGÍA.....	17
4.1 Marco Geológico Regional.....	17
4.2 Estratigrafía.....	17
4.3 Geología Estructural.....	23
4.4 Diapirismo y vulcanismo de lodo.....	24
5 INTERPRETACIÓN SÍSMICA.....	27
5.1 Interpretación.....	27
5.2 Modelo sísmico - estructural.....	31
5.3 Modelo sísmico - estratigráfico.....	38
5.4 Conversión tiempo profundidad.....	40
5.5 Cartografía	43
6 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO.....	44
6.1 Roca Generadora.....	44
6.2 Roca Almacenadora.....	45
6.3 Roca Sello.....	45
6.4 Trampa.....	46
6.5 Historia de generación y expulsión	47
6.6 Migración.....	47
6.7 Carta de eventos.....	48
7 POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO.....	50
7.1 Integración métodos potenciales - rasgos estructurales.....	50

CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	3
Figura 2. Mapa con la información sísmica y pozos cargados al sistema.....	5
Figura 3. Mapa geológico usado para la interpretación.	10
Figura 4. Mapa de calidad sísmica.....	12
Figura 5. Comparación PSTM y PSDM de un sector de la sección sísmica.....	14
ANH-SS-2008-04.	
Figura 6 Modelo análogo, cuenca Oriente de Venezuela.....	15
Figura 7. Análogo offshore Barbados.....	16
Figura 8. Carta de correlación estratigráfica para la subcuenca Sinú Sur.....	19
Figura 9. Columna estratigráfica subcuenca del Sinú.....	20
Figura 10. Modelo esquemático formación de diapiros.....	25
Figura 11. Amarre sísmica – geología de superficie.....	29
Figura 12. Afloramiento de basaltos en Islas Galápagos, Ecuador.....	31
Figura 13. Sección sísmica PSTM, ANH-SS-2008-01.....	32
Figura 14. Sección sísmica PSTM, ANH-SS-2008-02.....	33
Figura 15. Sección sísmica PSTM, ANH-SS-2008-04.....	34
Figura 16. Sección sísmica PSTM, ANH SS 2008 06.	35
Figura 17. Detalle línea sísmica ANH-SS-2008-04 mostrando complejo sistema de fallas.....	36

Figura 18. Sistema transpresivo El Congo.....	38
Figura 19. Sección sísmica ANH SS 2008 06, mostrando discordancias.....	39
y cambios de espesor relacionados.	
Figura 20. <i>Línea ANH-SS-2008-04 mostrando las principales discordancias,....</i>	40
<i>cambios de espesor en los estratos</i>	
Figura 21. Sistema conjugado de fallas en afloramiento de la Formación.....	46
Manantial	
Figura 22. Vías de migración en un sector de la línea ANH-SS-2008-04.....	47
Figura 23. Carta de eventos generalizada para la subcuenca Sinú Sur.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Programas sísmicos utilizados en el proyecto.....	6
Tabla 2. Lista de pozos disponibles consultados para este proyecto.....	8
Tabla 3. Topes de formación pozos del área.....	9
Tabla 4. . Descripción calidad sísmica área Sinú Sur.....	13
Tabla 5. Registro de velocidad pozo Arboletes-1.....	41
Tabla 6. Velocidades de intervalo pozo San Jorge-1.....	41
Tabla 7. Velocidades de intervalo pozo San Sebastián-1.....	41
Tabla 8. Velocidades de intervalo pozo Claro-1.....	42
Tabla 9. Velocidades definidas para conversion en profundidad a partir	42
de datos de los pozos Arboletes-1, Claro-1, San Jorge-1 y San Sebastián-1	
Tabla 10. Velocidades definidas cuenca Baram Delta.....	43

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa de calidad Sísmica
- Anexo 2. Línea sísmica PSTM, ANH-SS-2008-01
- Anexo 3. Línea sísmica PSTM, ANH-SS-2008-02
- Anexo 4. Línea sísmica PSTM, ANH-SS-2008-04
- Anexo 5. Línea sísmica PSTM ANH-SS-2008-06
- Anexo 6. Línea sísmica PSDM, ANH-SS-2008-01
- Anexo 7. Línea sísmica PSDM, ANH-SS-2008-02
- Anexo 8. Línea sísmica PSDM, ANH-SS-2008-04
- Anexo 9. Línea sísmica PSDM, ANH SS-2008-06
- Anexo 10. Mapa en tiempo doble al tope de la Formación Pajuil Inferior
- Anexo 11. Mapa en tiempo doble al tope de la Formación Floresanto
- Anexo 12. Mapa en tiempo doble al tope de la Formación Pavo Inferior
- Anexo 13. Mapa en tiempo doble al tope de la Formación Maralú
- Anexo 14. Mapa en tiempo doble al tope de la Formación Manantial
- Anexo 15. Mapa en profundidad al tope de la Formación Pajuil Inferior
- Anexo 16. Mapa en profundidad al tope de la Formación Floresanto
- Anexo 17. Mapa en profundidad al tope de la Formación Pavo Inferior
- Anexo 18. Mapa en profundidad al tope de la Formación Maralú
- Anexo 19. Mapa en profundidad al tope de la Formación Manantial
- Anexo 20. Áreas de interés exploratorio

Anexo 21. Mapa de leads Formación Pajuil Inferior

Anexo 22. Mapa de leads Formación Floresanto

Anexo 23. Mapa de leads Formación Pavo Inferior

Anexo 24. Superposición mapa de basamento - rasgos estructurales

RESUMEN

La ANH, con el fin de ampliar el conocimiento geológico y geofísico de la Cuenca del Sinú, recientemente contrató la adquisición e integración de 300 kilómetros de información sísmica PSTM 2D con datos nuevos de gravimetría, magnetometría, gasometría y geología de superficie para definir los principales rasgos estructurales y estratigráficos y oportunidades exploratorias para hidrocarburos.

La zona se caracteriza por volcanes y diapiros de lodo con manifestaciones de gas y aceite, los cuales afectan la resolución de los datos sísmicos. Por ejemplo, el área afectada por diapirismo muestra zonas transparentes (sordas) que contrastan con los sinclinales en donde se presentan zonas de buena continuidad en los reflectores.

Los sinclinales exhiben límites de secuencias claros limitados en su mayoría por discordancias, evidenciando cambios rápidos en la tasa de sedimentación y en el espacio de acomodación debido a la tectónica transtensiva-transpresiva presente en el área y/o al basculamiento (*tilting*) por subsidencia al aumentar la carga sedimentaria. Se identificaron al menos seis límites de secuencias o discordancias.

Estructuralmente se presenta una serie de sinclinales amplios y profundos delimitados por diapiros y/o volcanes de lodo asociados a fallas inversas en zonas estructuralmente débiles o a lo largo de fracturas preexistentes. Las fallas inversas presentan una dirección NE-SW y buzan en direcciones convergentes. Adicionalmente, se presentan fallas transversales de rumbo perpendiculares a la dirección general de las estructuras.

El potencial hidrocarburífero de esta cuenca está asociado a trampas anticlinales con cierre propio en sus cuatro direcciones, flancos de los sinclinales con sello lateral asociado a los diapiros de lodo, bloque colgante de fallas inversas que pueden estar limitando diapiros y trampas estratigráficas asociadas a discordancias angulares.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe es el resultado de la interpretación sísmica adquirida por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en el año 2008 integrada con la información sísmica de años anteriores, información de pozos, geología de superficie y demás información geológica disponible. Proyecto realizado para ANH, mediante el contrato de prestación de servicios **II-05-SINU SUR 2D. ANH-Interpretación-005** con Geokinetics International, Inc., cuyo objetivo primordial es aumentar el conocimiento del potencial hidrocarburífero del subsuelo en el Sinú Sur.

Localización

El área de estudio está localizada en la parte sur de la cuenca del Sinú, limitada al norte por el mar Caribe y las poblaciones de Arboletes y Montería, al oriente con el lineamiento del Sinú, paralelo al río Sinú, al sur con las estribaciones de la Cordillera Occidental, específicamente la serranía de Abibe y al occidente con el golfo de Urabá, (**Figura 1**).

Objetivo

El principal objetivo es realizar la interpretación sísmica del programa **ANH-SS-2008** para definir zonas potenciales para trampas de hidrocarburos.

Metodología

En la interpretación sísmica se integró información de geología de superficie realizada sobre las líneas sísmicas, hecha por Ariana, cartografía geológica del Ingeominas-Geotec (2003), datos de topes de pozos viejos, verificación de anomalías gravimétricas, magnetométricas y geoquímicas obtenidas en la adquisición respectiva del 2008, realizadas dentro del mismo proyecto.

La metodología usada en el desarrollo de este proyecto comprende 5 etapas principales:

1. Compilación y carga de la información al sistema
2. Análisis de la información existente
3. Interpretación sísmico-estratigráfica-estructural e integración de información geológico-geofísica

4. Mapeo en tiempo y profundidad de las principales unidades
5. Definición de oportunidades exploratorias (Leads)
6. Elaboración del Informe final, consignando los principales resultados y conclusiones obtenidos en el proyecto

En la fase inicial se recopiló información sísmica, de pozo, de geología de superficie y regional disponible del área y suministrada por la **ANH**.

Luego se cargó la información sísmica de años anteriores y de pozos en el sistema Geographix Discovery 2007.2, junto con el mapa geológico de Ingeominas – Geotec (2003).

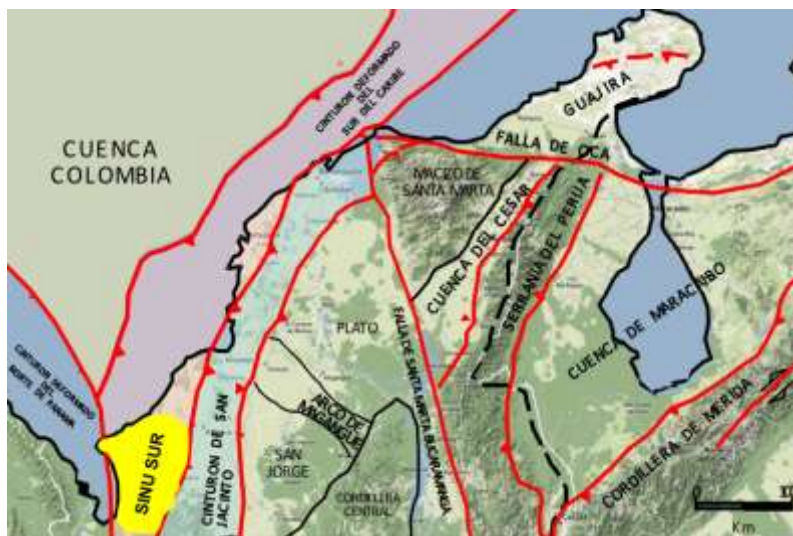


Figura 1. Localización del área de estudio.

Una vez recibida la información sísmica, programa **ANH-SS-2008**; esta fue cargada al sistema y se reinició la interpretación. En esta etapa hay una interacción fuerte entre geología de superficie, datos de pozo e imagen sísmica.

Es de anotar que ante la ausencia de datos de velocidad el amarre sísmica pozo realmente no se hizo. Solamente se hizo control geológico con superficie, utilizando los mapas geológicos disponibles.

Se interpretaron las principales fallas, con los nombres consignados en los mapas geológicos, a las fallas adicionales importantes se les dio nombre del sector geográfico aledaño.

Se interpretaron los siguientes horizontes: Arenas Monas, Morrocoy-Pantano, Pajuil Superior, Pajuil Inferior, Floresanto, Pavo Superior, Pavo Inferior, Maralú, Manantial y La Risa o Eoceno Medio. Todos los horizontes corresponden a discordancias. Entre los anteriores horizontes se encuentran discordancias adicionales, limitando generalmente secuencias que no afloran en superficie.

Con la interpretación definida en la etapa anterior se procedió a elaborar los mapas en tiempo doble, a escala 1:100.00 al tope de las Formaciones Pajuil Inferior, Floresanto, Pavo Inferior, Maralú y Manantial que son las más representativas del área desde el punto de vista petrolífero.

Para hacer los mapas estructurales, en profundidad, se cargó el PSDM de las cuatro líneas sísmicas del programa **ANH-SS-2008**, procesado por PETROSEIS y se procedió al mapeo. Debido al poco control con velocidades de subsuelo los resultados adquiridos en este proceso son susceptibles de mejorar o cambiar con procesos y velocidades diferentes.

Con estos mapas en profundidad y teniendo en cuenta que son muy regionales y que además es un área estructuralmente compleja, que cambia estratigráfica y estructuralmente en forma drástica de un lugar a otro, nos atrevimos a postular algunas áreas de interés exploratorio (Leads) para enfocar los estudios en un futuro. A cada área se le hizo una ficha técnica alusiva.

2. INFORMACIÓN UTILIZADA

Para el desarrollo del siguiente proyecto se utilizó información sísmica de programas anteriores e información sísmica registrada a finales del 2008 y principios del 2009, programa **ANH-SS-2008**, información de pozos perforados en el área, cartografía geológica existente del área e informes relacionados, información suministrada por la **ANH**. También se consultaron artículos de cuencas análogas, ubicadas en diferentes partes del mundo.

2.1 Información sísmica

Se cargó información sísmica de los programas Floresanto 1979, Urabá-Sinú 1980, NW Colombia 1984-GSI, Necoclí 1985, Córdoba-Floresanto 1989 y ANH-SS-2008. La **Figura 2** y la **Tabla 1** muestran la sísmica disponible, utilizada en este proyecto.

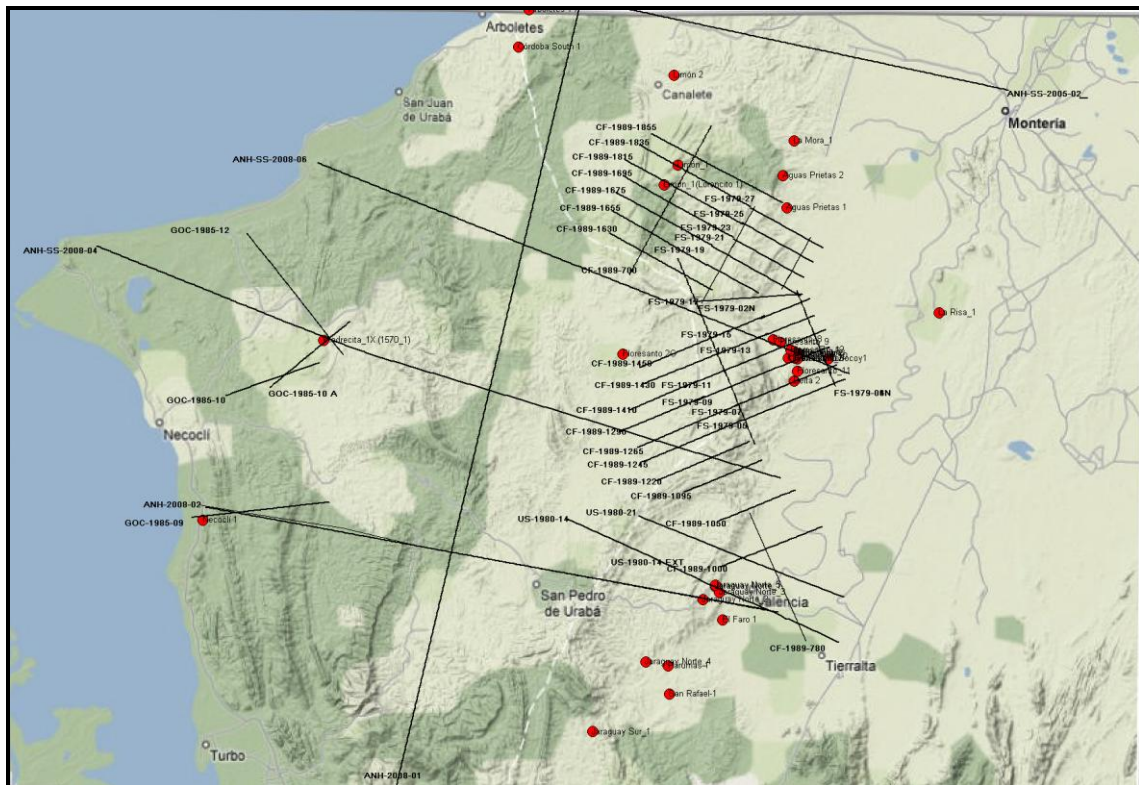


Figura 2. Mapa con la información sísmica y pozos presentes en el área, cargados en el sistema. Relieve tomado de Google 2008.

SÍSMICA CARGADA EN EL SISTEMA GEOGRAPHIX 2007.2		
Programa	Línea	Extensión (km)
ANH-SS-2008	ANH-SS-2008-01	107.6
	ANH-SS 2008-02	69.7
	ANH-SS 2008-04	85
	ANH-SS 2008-06	67.3
	TOTAL	329.6
CÓRDOBA FLORESANTO 1989	CF-700	19.7
	CF-780	40.9
	CF-0925	14.5
	CF-1000	12.7
	CF-1050	9.8
	CF-1095	9.4
	CF-1220	12
	CF-1245	12.7
	CF-1265	12.8
	CF-1290	10.8
	CF-1410	8.7
	CF-1430	15.7
	CF-1450	15.6
	CF-1630	13.7
	CF-1655	13
	CF-1675	12.8
	CF-1695	15
	CF-1815	15.8
	CF-1835	15.8
	CF-1855	17.1
	TOTAL	298.5
FLORESANTO 1979	FS-79-02	12.5
	FS-79-02N	10
	FS-79-04	18.3
	FS-79-04N	6.6
	FS-79-05	12.9
	FS-79-06	12.1
	FS-79-07	12.7
	FS-79-09	17
	FS-79-11	16.3
	FS-79-13	6.2
	FS-79-15	6.2
	FS-79-17	12.7
	FS-79-19	7
	FS-79-21	12.2
	FS-79-25	9.5
	FS-79-27	9.6
	TOTAL	181.8
NECOCLÍ 1985	GOC-09	16
	GOC-10	18
	GOC-10A	12
	GOC-12	18.2
	TOTAL	64.2
ANH-SS-2005	ANH-SS-2005-01	71.7
	ANH-SS-2005-02	57.1
	ANH-SS-2005-03	88.8
	ANH-SS-2005-04	85
	TOTAL	302.6
L-1984	L-1984-07	126.2
	TOTAL	126.2
US-1980	US-1980-14	22.4
	US -1980 EXT	13.2
	US-1980-21	26.2
	TOTAL	61.8
TOTAL	46 LINEAS SISMICAS	1364.7

Tabla 1. Programas sísmicos utilizados en este proyecto.

2.2 Información de Pozo

Se cargaron 27 pozos al sistema, la mayoría de estos pertenecen a los campos Floresanto y Jaraguay. Sin embargo los pozos exploratorios, más representativos de la cuenca cuentan con pocos datos, algunos solamente tienen las coordenadas y la profundidad final, no hay historias de pozo ni registros eléctricos. En la interpretación se usaron básicamente los pozos perforados sobre o cerca de las líneas sísmicas para poder correlacionar.

Es de anotar que como los pozos son muy antiguos, los topes de unidades no son confiables, algunos aplican otra nomenclatura o aparece todo el pozo como “Mioceno Indiferenciado”. Tampoco se contó con datos de velocidad para poder amarrar estos datos a la sísmica. Únicamente se contó con el registro de velocidad del pozo **Arboletes-1**, el cual se rescató de una imagen donde los datos estaban a mano, y se uso como base la conversión a profundidad, junto con otros pozos de las cuencas vecinas. La **Tabla 2** muestra la lista de pozos consultada y la información disponible de cada uno.

Los topes de formación fueron tomados en su mayoría del registro gráfico compuesto de cada pozo. Los términos cronoestratigráficos fueron definidos por cada compañía de acuerdo al conocimiento geológico de la época. Algunos no coinciden con la nomenclatura usada actualmente. La **Tabla 3** contiene los topes de los principales pozos tenidos en cuenta en la interpretación.

Información Pozos Sinú Sur								
POZOS	TO PES	GRAFICO COMPUES TO	REGISTROS LAS	IMÁGENES REGISTRO	REGISTRO LITOLÓGICO	REGISTRO DE VELOCIDAD	HISTORIA DE POZO	UTILIZADO
Arboletes 1-x	✓	✓	✓	✓	X	PDF a mano	X	✓
Bone 1	X	✓	✓	✓	X	X	X	X
Córdoba-1	✓	X	X	X	X	X	X	✓
Córdoba South-1	✓	✓	X	X	X	X	X	✓
Delta-1	X	X	✓	✓	X	X	X	X
El Faro-1	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X
El Faro 1st	X	X	X	✓	✓	X	X	X
Floresanto-1	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓
Floresanto-2	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓
Floresanto-3	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓
Floresanto-4	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓
Floresanto-5	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓
Floresanto-6	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓
Floresanto-7	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓
Floresanto-8	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓
Floresanto-9	✓	X	✓	✓	X	X	X	✓
Floresanto-10	X	X	✓	✓	X	X	X	✓
Floresanto-11	✓	X	✓	✓	X	X	X	✓
Jaraguay-1	X	✓	X	X	PDF	X	X	X
Jaraguay Norte 1	✓	✓	✓	X	✓	X	X	✓
Jaraguay Norte-3	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓
Jaraguay Norte-4	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Jaraguay Norte-5	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓
Jaraguay Sur-1	✓	X	X	X	✓	X	X	X
La Mora-1	✓	✓	X	X	X	X	X	X
La Risa-1	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X
Morrocoy-1	X	✓	X	X	X	X	X	X
Necoclí 1	✓	X	X	X	X	X	X	✓
Parumas-1	✓	✓	X	X	X	X	X	✓
Piedrecitas-1	✓	✓	X	X	X	X	X	X
Piru-1	X	✓	X	X	X	X	X	✓
San Rafael-1	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Tucurá-1	X	✓	X	X	X	X	X	X
Turbo 1	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 2. Lista de pozos disponibles consultados para este proyecto.

<table> <tr> <th colspan="2">Arboletes 1</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Mioceno Medio</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Mioceno Inferior</td><td>1.790</td></tr> <tr> <td>Oligoceno</td><td>3.980</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>8.832</td></tr> </table>	Arboletes 1		Formación	Tope (pies)	Mioceno Medio	0.0	Mioceno Inferior	1.790	Oligoceno	3.980	TD	8.832	<table> <tr> <th colspan="2">Córdoba 1</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Escondido (Oligoceno Medio)</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Falla</td><td>1.332</td></tr> <tr> <td>Pajuil - Floresanto</td><td>1.332</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>10.150</td></tr> </table>	Córdoba 1		Formación	Tope (pies)	Escondido (Oligoceno Medio)	0.0	Falla	1.332	Pajuil - Floresanto	1.332	TD	10.150
Arboletes 1																									
Formación	Tope (pies)																								
Mioceno Medio	0.0																								
Mioceno Inferior	1.790																								
Oligoceno	3.980																								
TD	8.832																								
Córdoba 1																									
Formación	Tope (pies)																								
Escondido (Oligoceno Medio)	0.0																								
Falla	1.332																								
Pajuil - Floresanto	1.332																								
TD	10.150																								
<table> <tr> <th colspan="2">Córdoba South 1</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Mioceno Inferior</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Oligoceno Superior</td><td>2.420</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>13.917</td></tr> </table>	Córdoba South 1		Formación	Tope (pies)	Mioceno Inferior	0.0	Oligoceno Superior	2.420	TD	13.917	<table> <tr> <th colspan="2">Necoclí 1</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Mioceno</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Oligoceno Superior</td><td>50</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>10.569</td></tr> </table>	Necoclí 1		Formación	Tope (pies)	Mioceno	0.0	Oligoceno Superior	50	TD	10.569				
Córdoba South 1																									
Formación	Tope (pies)																								
Mioceno Inferior	0.0																								
Oligoceno Superior	2.420																								
TD	13.917																								
Necoclí 1																									
Formación	Tope (pies)																								
Mioceno	0.0																								
Oligoceno Superior	50																								
TD	10.569																								
<table> <tr> <th colspan="2">Piedrecitas 1X (1570 1X)</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Mioceno Medio</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>Mioceno Inferior</td><td>1.150</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>12.262</td></tr> </table>	Piedrecitas 1X (1570 1X)		Formación	Tope (pies)	Mioceno Medio	0.0	Mioceno Inferior	1.150	TD	12.262	<table> <tr> <th colspan="2">Porquería 1X</th></tr> <tr> <th>Formación</th><th>Tope (pies)</th></tr> <tr> <td>Mioceno Indiferenciado</td><td>0.0</td></tr> <tr> <td>TD</td><td>14.512</td></tr> </table>	Porquería 1X		Formación	Tope (pies)	Mioceno Indiferenciado	0.0	TD	14.512						
Piedrecitas 1X (1570 1X)																									
Formación	Tope (pies)																								
Mioceno Medio	0.0																								
Mioceno Inferior	1.150																								
TD	12.262																								
Porquería 1X																									
Formación	Tope (pies)																								
Mioceno Indiferenciado	0.0																								
TD	14.512																								

Tabla 3. Topes de formación pozos exploratorios del área. Tomados de los registros gráficos compuestos de cada pozo.

2.3 Geología de superficie

Se contó con el mapa levantado por Ariana Ltda a finales del 2008, a lo largo de las líneas del programa sísmico **ANH-SS-2008**, a escala 1:100.000 y con el mapa geológico de Ingeominas - Geotec (2003), el cual se tomó como referencia base en la interpretación.

Los dos (2) mapas fueron georeferenciados y cargados al sistema. El mapa de Ariana tiene más detalle sobre las líneas sísmicas y el de Ingeominas en otros sectores del área. La **Figura 3** muestra la superposición del mapa geológico con la sísmica, pozos, volcanes de lodo y rezumaderos presentes en el área.

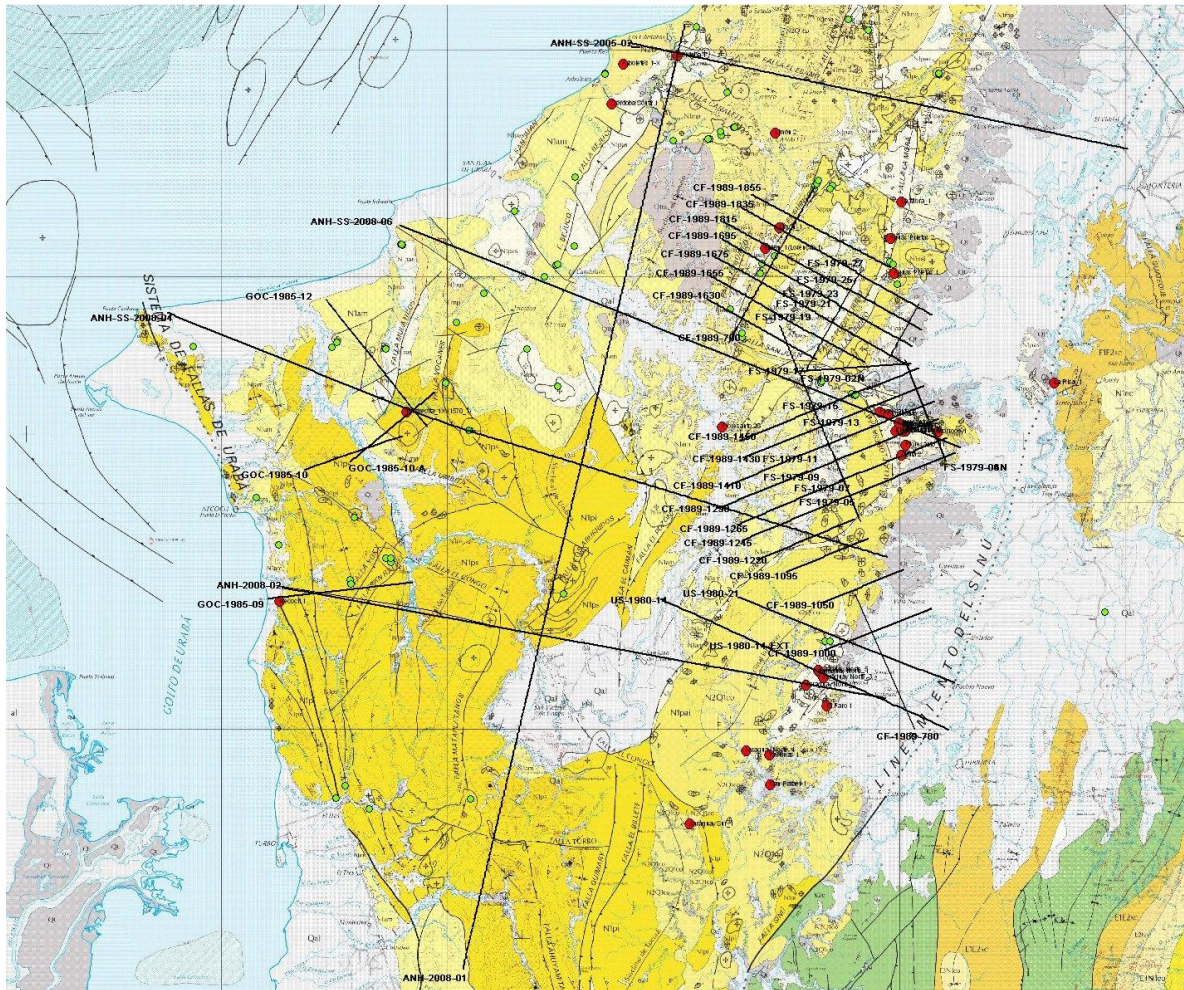


Figura 3. Mapa geológico usado para la interpretación. Tomado de Ingeominas-Geotec (2003)

3. CALIDAD INFORMACIÓN SÍSMICA

La información sísmica registrada anteriormente, en general es de regular calidad, es de buena calidad en los sinclinales y de muy mala a regular en las zonas de falla, diapiros y/o volcanes de lodo. Existen zonas, en general en el centro de las líneas con muy mala imagen. Para cada línea se hizo una evaluación visual de calidad de la imagen sísmica y con esto se procedió a elaborar el mapa de calidad sísmica para el área de estudio, (**Figura 4, Anexo 1 y Tabla 4**).

La calidad está relacionada con la mayor o menor complejidad estructural del sector, siendo mala en los ápices de las estructuras falladas, asociadas con áreas de múltiple fallamiento y diapirismo de lodo, donde hay disipación de energía por la presencia de gas. Los sinclinales presentan muy buena resolución sísmica.

La nueva información **ANH-SS-2008**, define muy bien los sinclinales (amplios y profundos) hasta 4 segundos, sin embargo los altos buzamientos en los flancos de cada depocentro, afectan la correcta ubicación lateral de sus terminaciones ya sea por migración o por sombra de las fallas que afloran en superficie. Al igual que en la sísmica de programas anteriores, se presentan zonas sordas o caóticas en zonas de fuerte fallamiento y diapirismo.

La migración en profundidad (PSDM), en general mejoró la definición en tiempo (PSTM). En algunas estructuras, permitió identificar fallas adicionales, definiendo saltos de fallas y horizontes. La **Figura 5** muestra un sector de la línea **ANH-SS-2008-04** en tiempo y profundidad respectivamente, donde se puede observar cualitativamente cambios entre las 2 versiones.

Procesamiento sísmico

Es necesario en las zonas de interés exploratorio propuestas:

- Mejorar u optimizar la resolución sísmica.
- Definición y ubicación en profundidad de potenciales unidades reservorio.
- Extensión y mapeo de posibles acumulaciones de hidrocarburos.
- Evaluación de riesgos geológicos y cuantificación de reservas.
- Perforación estratigráfica y/o exploratoria.

No se encuentra en el sector información sísmica comparable con la adquirida por la ANH en el 2008, a excepción de líneas cortas registradas al oriente: Floresanto 1979, Córdoba Floresanto 1989, es posible suponer que utilizar tiempo de registro de 12

segundos es demasiado ya que la señal sísmica puede traer superpuesta información variada, reverberaciones, múltiples, eventos de fuera del plano, etc., difíciles de filtrar, al presentar contenidos de frecuencia similares a los datos importantes.

La información previamente adquirida en los programas mencionados, se realizó con tiempo de registro de 5 segundos, suficiente para iluminar los principales objetivos exploratorios que la tecnología de perforación actual lo permite.

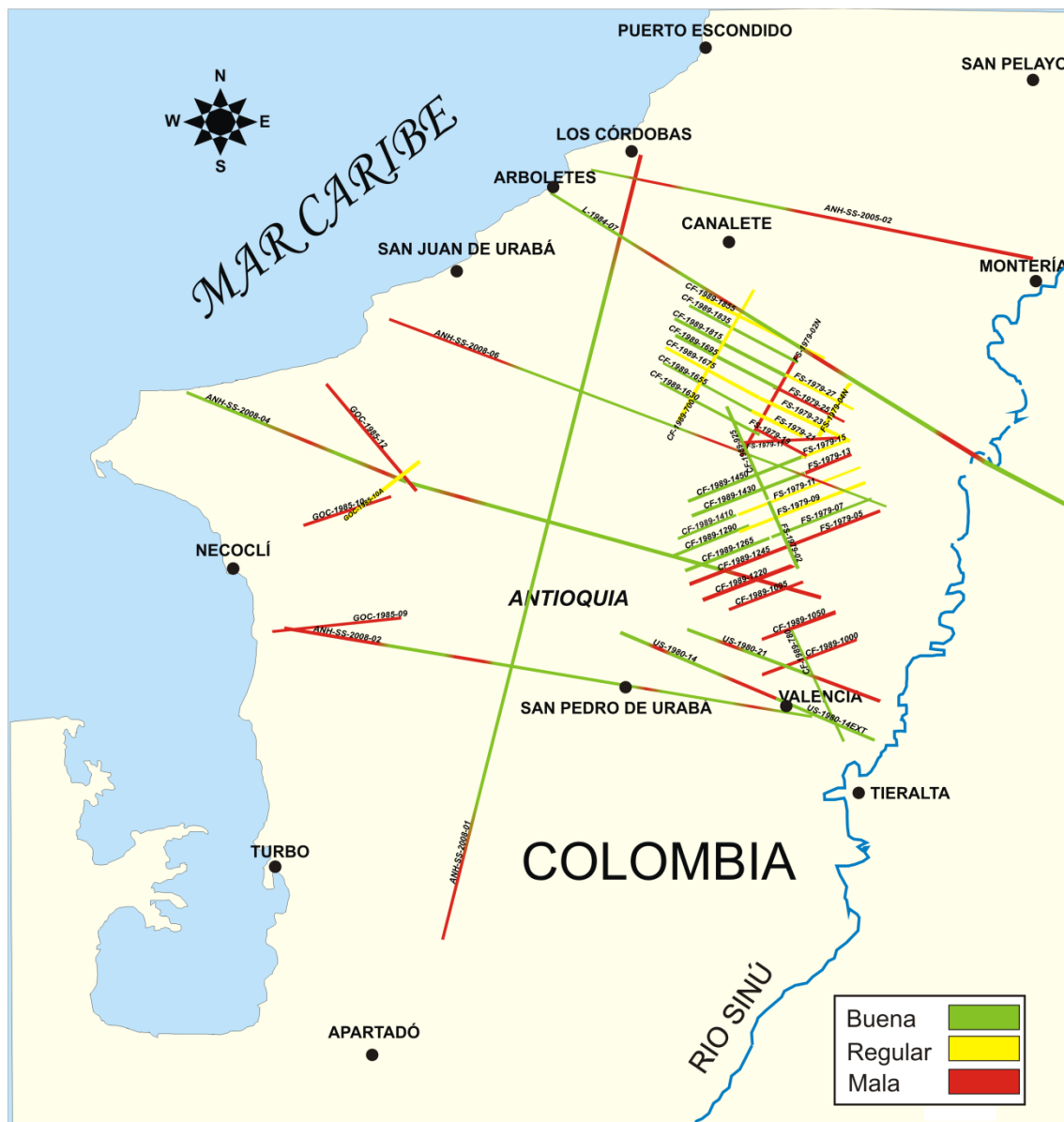


Figura 4. Mapa de calidad sísmica área Sinú Sur

CALIDAD SISMICA SINU SUR		
Programa	Línea	Calidad - Observaciones
ANH-SS-2008	ANH-SS-2008-01	Buena la mayor parte, ruido en zonas falladas (flores positivas)
	ANH-SS-2008-02	Buena. Ruido en zonas falladas (flores positivas)
	ANH-SS-2008-04	Buena. Ruido en zonas falladas (flores positivas)
	ANH-SS-2008-06	Buena. Ruido en zonas falladas (flores positivas)
L-84	L-84-07	Buena. Ruido en zonas falladas (flores positivas)
CÓRDOBA FLORESANTO 1989	CF-89-700	Mala a regular (rumbo)
	CF-89-780	Buena en sinclinal, mala en la parte central, fallamiento, Volcanes de lodo?
	CF-89-925	Buena, ruido en el diapiro
	CF-89-1000	Buena parte superior (hasta 1.5 ms), mala el resto
	CF-89-1050	Mala
	CF-89-1095	Mala
	CF-89-1220	Mala
	CF-89-1245	Regular, de 2.5 msg para abajo mala
	CF-89-1265	Buena a regular, de 3.5 msg para abajo mala
	CF-89-1290	Buena (parte superior ,500 ms regular)
	CF-89-1410	Buena (parte superior, 500 ms, mala)
	CF-89-1430	Buena a regular , parte oriental mala desde SP 530
	CF-89-1450	Buena a regular. Mala en 1os. 300 msg. Parte derecha mala desde SP 650
	CF-89-1630	Buena a regular. Buena en el sinclinal
	CF-89-1655	Buena a regular, buena en sinclinal hasta SP 260, mala primeros 300 mgs
	CF-89-1675	Regular (diapiro?)
	CF-89-1695	Buena, con presencia de diapiro y fallamiento
	CF-89-1815	Buena a regular, buena en los sinclinales, diapiro y/o fallamiento
	CF-89-1835	Buena a regular. Buena en sinclinal, mala de SP 69 a 270
	CF-89-1855	Regular a mala, posible diapiroismo
Floresanto 1979	FS-79-2	Regular
	FS-79-2N	Mala a regular
	FS-79-4	Mala
	FS-79-4N	Regular
	FS-79-5	Mala
	FS-79-6	Regular
	FS-79-7	Buena a regular
	FS-79-09	Mala, regular en la parte Este (SP 30), diapiro?
	FS-79-11	Regular, parte central mala, posible diapiro o fallamiento
	FS-79-13	Mala a regular, los primeros 200 msg pésima
	FS-79-15	Mala, regular los primeros 300 msg
	FS-79-17	Mala hasta SP 270, el resto regular
	FS-79-19	Mala
	FS-79-21	Regular a mala, diapiro en la parte central
	FS-79-25	Mala a regular, parte central pésima, ¿volcán de lodo o fallamiento?
	FS-79-27	Regular
Necoclí 1985	GOC-9	Mala
	GOC-10	Mala a regular (se ve algo en el sinclinal)
	GOC-10A	Regular a mala
	GOC-12	Mala
US-1980	US-1980-14	Mala a regular. Buena en los sinclinales
	US-1980-14 EXTRA	Buena
	US-1980-21	Buena y mala

Tabla 4. Descripción calidad sísmica área Sinú Sur.

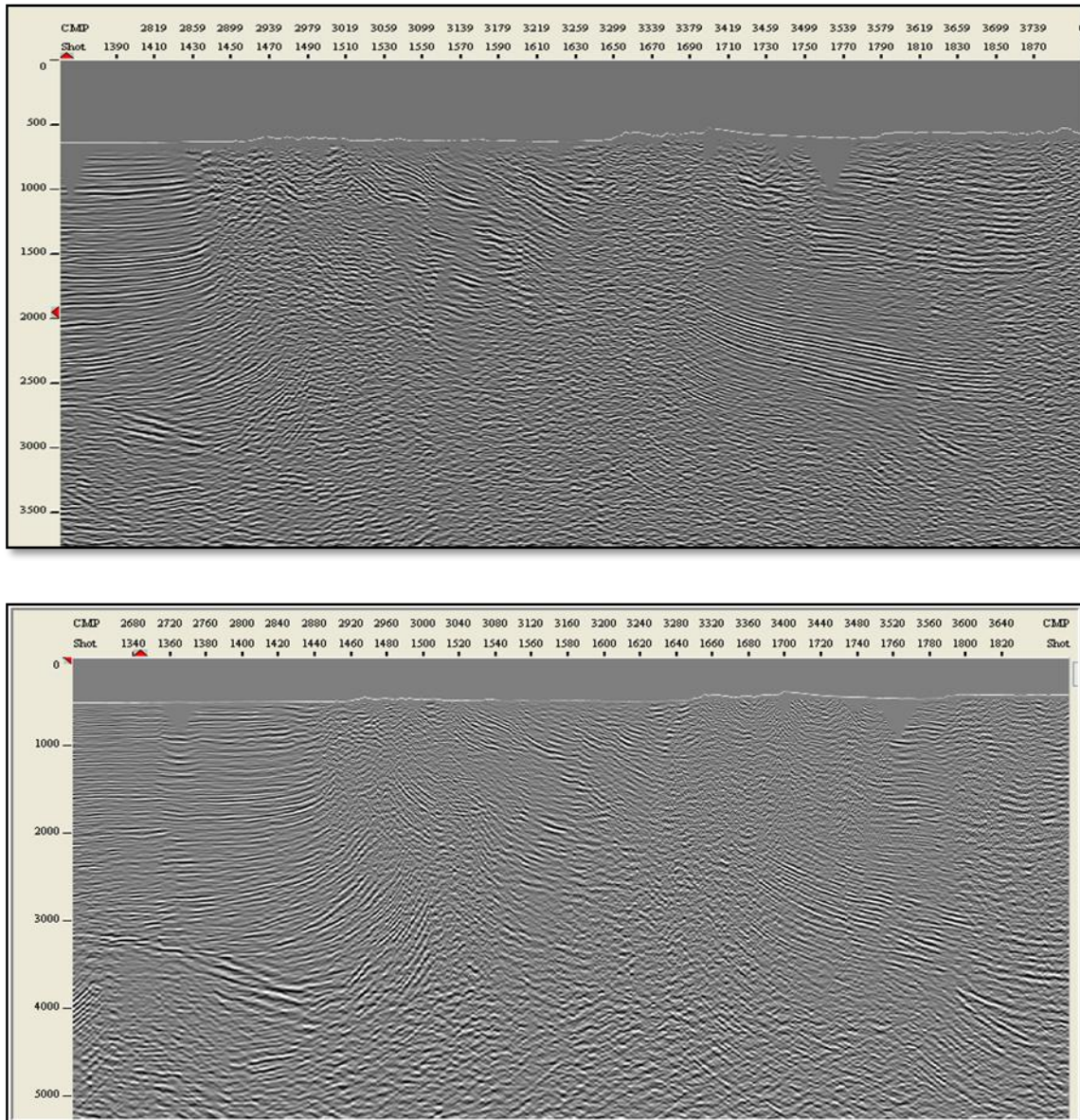


Figura 5. Comparación PSTM y PSDM de un sector de la sección sísmica **ANH-SS-2008-04**. Arriba migración en tiempo PSTM y abajo migración en profundidad PSDM.

Incluimos en este reporte imágenes de secciones sísmicas registradas en la cuenca de Oriente en Venezuela, y Barbados offshore, las cuales consideramos que constituyen un buen ejemplo de resolución sísmica para este tipo de estilos estructurales, (**Figuras 6 y 7**).

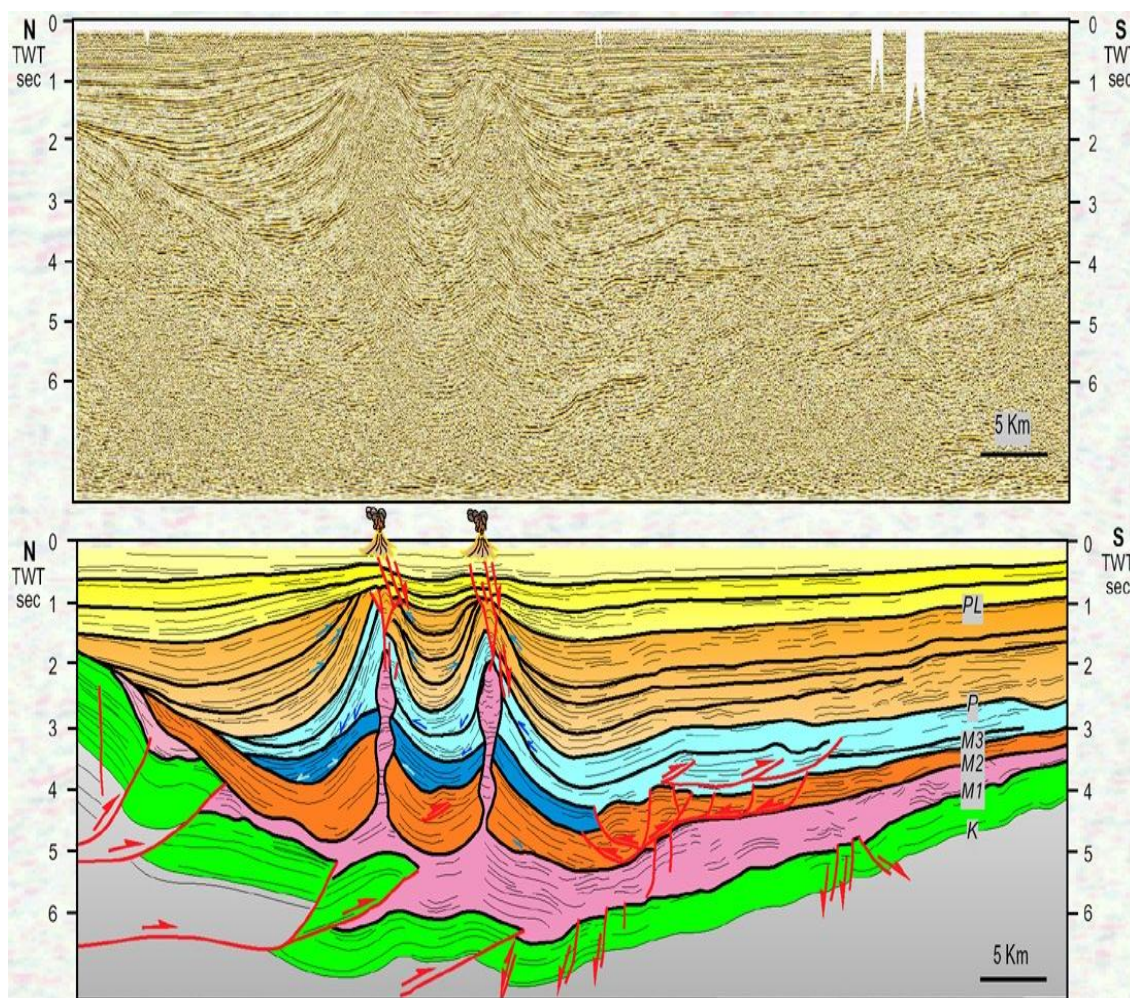


Figura 6. Modelo análogo, cuenca Oriente de Venezuela. Tomado de Duerto & MacClay, 2002.

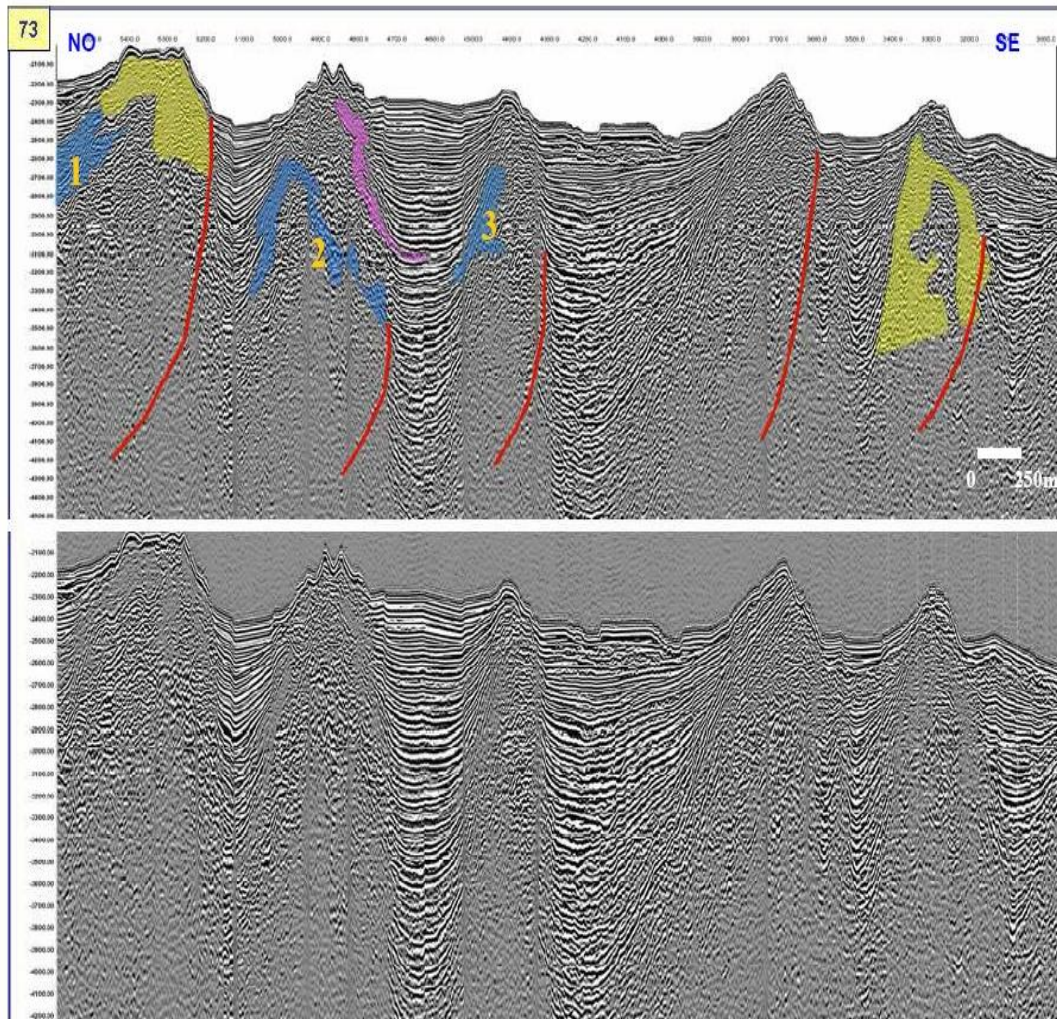


Figura 7. Análogo offshore Barbados. Tomado de Angulo, 2007.

La comparación con cuencas análogas en todo el mundo, con mayor estado de avance en su conocimiento geológico, ayudó en parte a definir el modelo estructural propuesto para esta área.

La comparación de datos sísmicos, motiva la recomendación de realizar procesamiento especializado, aún por definir, adicionales a PSDM y PSTM, los cuales serán un reto para la industria petrolera con el fin de cuantificar con más confianza el potencial hidrocarburífero de la cuenca y hacer perforaciones exploratorias con menos riesgo geológico.

Ejemplos de consulta de información similar con otras cuencas se citan: Cuenca de Oriente en Venezuela, Barbados, Nicaragua, Baram Delta (Indonesia), Mediterráneo y Mar del Norte principalmente.

4. GEOLOGÍA

4.1 Marco Geológico Regional

La cuenca del Sinú, ubicada al occidente del denominado cinturón plegado de San Jacinto, es una cuenca elongada con dirección N10°E. Su porción norte va paralela a la línea de costa de la parte norte de Colombia formando parte de la plataforma costera (*offshore*) y la parte sur, motivo de este estudio, se encuentra costa adentro (*onshore*). Limita al oriente por el lineamiento del Sinú que lo separa del cinturón plegado de San Jacinto, al occidente por la falla de Uramita que lo separa de la cuenca de Urabá, al sur limita con las estribaciones de la Cordillera Occidental, Serranía de Abibe (**Figura 1**).

La evolución y conformación geológica de la subcuenca del Sinú está estrechamente relacionada a la interacción de las placas Nazca-Cocos, Caribe y Sur América, desde el Cretáceo Tardío. El movimiento entre ellas ha condicionado la evolución paleogeográfica y tectónica de la zona.

La placa Caribe se está moviendo hacia el oriente respecto a las placas Norte y Sur América. Mediante fallas de rumbo dextro-laterales (*right-lateral strike-slip fault*) a lo largo del borde de la placa Sur Americana y sinestro-lateral (*left-lateral strike-slip fault*) a lo largo de la placa Norte Americana (Mann, 1999 en Caro, 2003).

4.2 Estratigrafía

La subcuenca del Sinú está compuesta, básicamente, por una potente secuencia sedimentaria de edad Terciaria (entre 5500 y 6500 m) que descansa directamente sobre el basamento oceánico (basaltos, peridotitas, gabros, diabasas).

La estratigrafía de la cuenca está íntimamente ligada a una intensa actividad tectónica, generando una serie de depocentros limitados por fallas de rumbo invertidas (*strike-slip*) que hace que las facies y espesores sedimentarios cambien de un lado a otro drásticamente. Esto se evidencia por abruptos cambios en las litologías en el mismo lapso de tiempo geológico debido a sintectonismo que da origen a discordancias entre casi todas las formaciones.

Por lo anterior, creemos que en esta cuenca se ha utilizado una nomenclatura complicada y ajustada a lo que se observaba en pozo ó en superficie. Con la sísmica del 2008 se evidencia la complejidad estratigráfica y estructural presente en el área.

Las discordancias muestran paquetes sedimentarios que solamente aparecen en ciertas partes de los sinclinales, sin que afloren en superficie.

En cuanto a la edad de las unidades presentes en el área, también existe confusión, una misma unidad es reportada con diferentes edades por diferentes autores.

Este proyecto adoptó la nomenclatura usada por Ingeominas - Geotec (2003) y la más usada por la mayoría de autores, para la mayor parte de la cuenca del Sinú. Es de anotar que Ingeominas en sus últimos estudios (1999, 2004) introdujo nombres informales, correspondientes a la localidad geográfica donde afloran las unidades, (ver **Figura 8**). En este proyecto se interpretaron las principales secuencias entre las principales discordancias, las cuales en cierta forma se correlacionan con la estratigrafía.

La **Figura 9** muestra la columna estratigráfica utilizada en este proyecto.

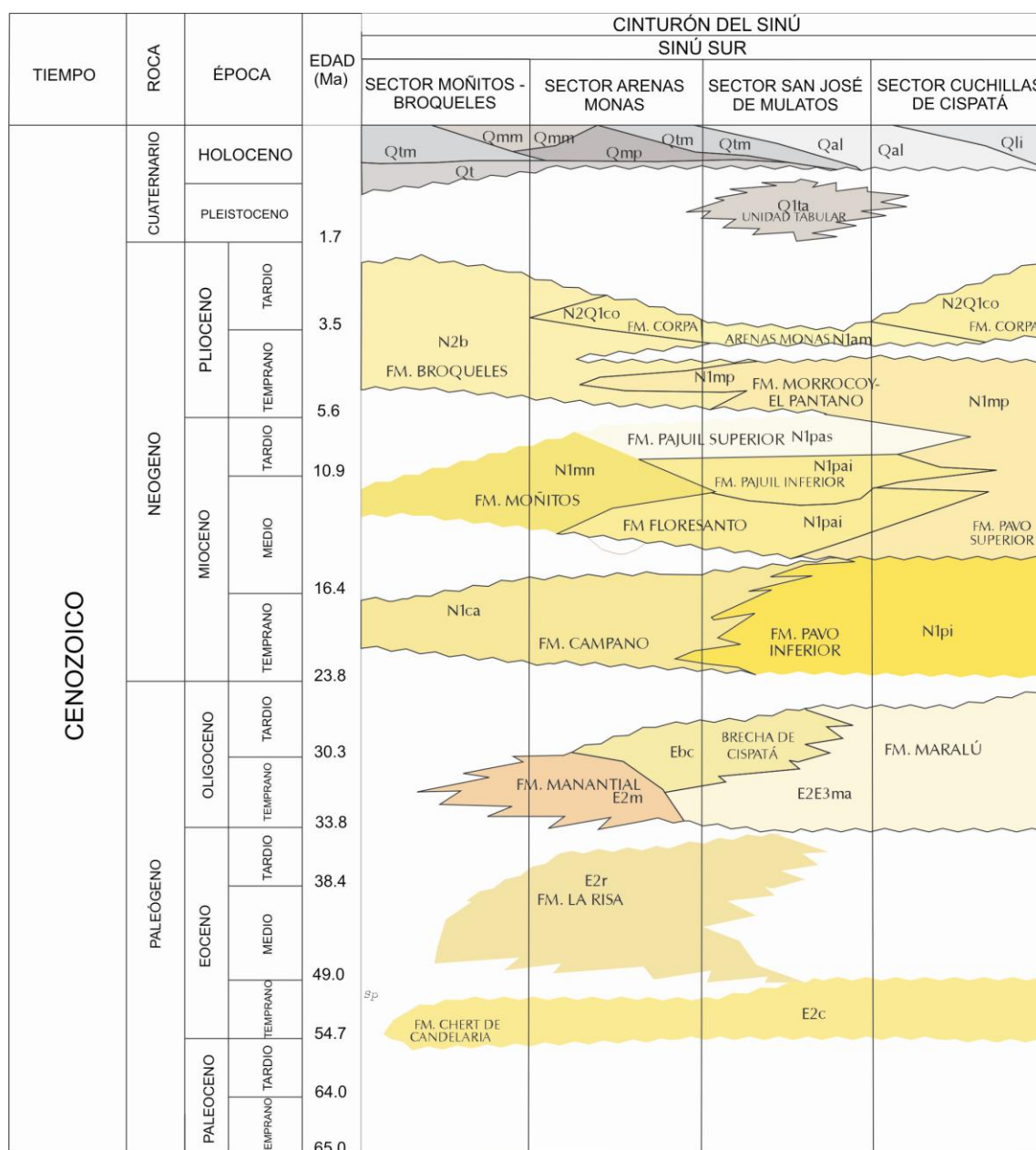


Figura 8. Carta de correlación estratigráfica para la subcuenca Sinú Sur. Tomada de Ingeominas-Geotec, 2003.

Columna SINÚ

Tiempo			Formación	Espesor (pies)	Litología SINÚ	Descripción litológica
Periodo Cuaternario	Época o Edad					
	Holoceno					
	Pleistoceno					
Terciario	Plioceno	T	Corpa	600-3600		Conglomerados arenosos - areniscas conglomeráticas. Al tope arenitas intercaladas con limolitas y lodolitas.
		Tm				
	Mioceno	T	Pajuil	1000-2800		Lutitas con intercalaciones de arenitas calcáreas que varían a limolitas. A la base arenitas calcáreas interestratificadas con delgadas capas de limolitas.
		M				
		Tm	Floresanto	1000-3000		Secuencia lutítica intercalada con limolitas y arenitas calcáreas de grano medio a fino y grueso.
	Oligoceno	T	Pavo	1000-2000		Areniscas líticas con intercalaciones de lutitas. Al tope lutitas y arcillolitas con delgados lentes de carbón.
		M	Maralú	?		Margas y shales limosos, Lutitas carbonosas
	Eoceno	T	Manantial			Secuencia granodecreciente, Areniscas conglomeráticas, al tope lutitas
		M	Chert de Candelaria			Porcelanitas con limolitas y arcillolitas silíceas, chert con radiolarios
		Tm				
Paleoceno	T	Depósito de Melange				
	Tm					
Cretáceo	Maastrichtiano			Tectónico		
	Campaniano			Sedimentario		
	Cenomaniano			Diapírico		
Turoniano						

- Tectónico
- Sedimentario
- Diapírico

Figura 9. Columna estratigráfica subcuenca del Sinú. Modificada de ANH, 2007.

Chert de Candelaria (Eoceno Temprano a Medio)

Esta unidad es la más antigua hasta ahora conocida y/o reportada en la subcuenca del Sinú. Está constituida principalmente por porcelanitas con limolitas y arcillolitas silíceas interestratificadas con lutitas y fragmentos brechoides de chert, mezclado con material tobáceo-silíceo, y lodolitas fosilíferas y chert con abundantes radiolarios.

Dataciones realizadas por varios autores utilizando foraminíferos, radiolarios y nannoplankton sugieren una edad Eoceno Temprano a Medio (en Ingeominas - Geotec, 2003). Sin embargo no hay certeza con la edad de esta unidad.

Unidad Pre-Manantial o La Risa (Eoceno Medio - Eoceno Tardío)

Corresponde a una secuencia de margas arcillosas a limosas intercaladas con calizas (bioesparitas y biomícritas a micritas fosilíferas), localmente arenosas a conglomeráticas y lutitas que se encuentran debajo de la Formación Manantial. No se conoce secuencia tipo, ni su distribución areal en subsuelo, por eso algunos autores no la tienen en cuenta.

Formación Manantial (Eoceno Tardío)

Constituida por una secuencia granodecreciente, a la base areniscas conglomeráticas a conglomerados arenosos que varían lateral y verticalmente a capas delgadas y gruesas de arenitas cuarzosas a líticas y lutitas al tope. Compuesta principalmente de cuarzo lechoso e hialino, fragmentos de cuarcitas, chert negro y en menor cantidad esquistos, rocas volcánicas, granitoides y otros líticos, Ingeominas – Geotec, 2003.

Formación Maralú (Oligoceno)

Constituida primordialmente por margas y shales limosos con abundante presencia de foraminíferos, localmente intercaladas con arenitas líticas de grano muy fino a fino y lutitas ligeramente limosas o carbonosas con microforaminíferos.

Análisis paleontológicos (foraminíferos principalmente) llevados a cabo en varias muestras (Ingeominas – Geotec, 2003) le asignan una edad Oligoceno hasta Mioceno Inferior, siendo muy probable de edad Oligoceno.

Formación Pavo (Mioceno Temprano)

Esta unidad aflora principalmente hacia el sur occidente del área. Constituida por 2 grandes miembros o secuencias, denominadas Pavo Inferior y Pavo Superior. El miembro Inferior está constituido por una secuencia de arenitas líticas a sublíticas, de grano medio a fino, intercaladas con capas delgadas de lutitas. El miembro Superior está compuesta por secuencias más finas: lutitas abigarradas y arcillolitas con delgados lentes de carbón con esporádicas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino, Ingeominas-Geotec (2003).

Con base en datos paleontológicos (foraminíferos, polen y nannoplankton) se deduce que esta formación se hace más joven hacia el occidente. Se le asigna una edad Mioceno Temprano a Medio en la parte centro-oriental y Mioceno Superior al occidente de la Falla de Yoky, Ingeominas-Geotec, 2003.

Formación Floresanto (Mioceno Medio)

Constituida por una secuencia lutítica con intercalaciones de limolitas calcáreas a micritas, arenitas finogranulares y arenitas calcáreas que lateralmente varían a limolitas o lutitas, localmente presentan concreciones calcáreas y escasos fragmentos de bivalvos.

Formación Pajuil (Mioceno Medio – Mioceno Tardío)

Esta unidad se divide en dos miembros: Pajuil Inferior y Superior. La unidad Pajuil Inferior se compone principalmente por arenitas calcáreas de grano fino a medio interestratificadas con capas delgadas a medianas de lodolitas y limolitas.

El Pajuil Superior está constituido principalmente por lutitas con intercalaciones de arenitas líticas de grano muy fino que lateralmente varían a limolitas o lutitas, y limolitas calcáreas y eventualmente calizas.

Unidad Morrocoy – El Pantano (Mioceno Tardío – Plioceno Temprano)

Esta unidad informal la introdujo Ingeominas-Geotec (2003) para designar las rocas aflorantes en la quebrada Morrocoy y el flanco oriental del sinclinal El Pantano y así diferenciarlas de la Formación Corpa que tiene características diferentes.

Constituida por arenitas líticas friables, localmente calcáreas que gradan a lutitas y arcillolitas. Presenta algunas intercalaciones de conglomerados arenosos bioclásticos

y lutitas con intercalaciones de arenitas y limolitas a calizas terrígenas. Las arenitas son de grano fino a medio con fósiles bien conservados de bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, corales, vértebras de peces, y otros. Ingeominas-Geotec, 2003.

Unidad Arenas Monas (Mioceno Tardío - Plioceno Temprano)

Unidad informal definida por Ingeominas - Geotec (2003). Constituida por una secuencia cíclica y granodecreciente que va desde un conglomerado arenoso y arenitas conglomeráticas a la base, hasta arenitas y lutitas al tope.

Formación Corpa (Plioceno Tardío)

Comprende dos sucesiones: Corpa Inferior y Corpa Superior. La parte inferior está constituida por conglomerados arenosos, polimícticos que varían a arenitas ligeramente conglomeráticas. La sucesión Corpa Superior está compuesta por arenitas a arenitas conglomeráticas en capas medianas a muy gruesas intercaladas con limolitas que varían a lodolitas, con predominio de facies finas hacia el tope.

4.3 Geología Estructural

El área corresponde a la porción *onshore* de la cuenca del Sinú y se caracteriza por una serie de sinclinales amplios y profundos que fueron formados posiblemente como subcuencas de hundimiento tipo *piggyback*, limitados por altos estructurales que forman anticlinales estrechos algunas veces asociados a diapiros de lodo y/o fallas inversas, fallas de rumbo con desplazamiento vertical (*strike-slip faults*). Estos altos en su gran mayoría corresponden a estructuras de flor positiva (*positive flower structures*).

El área ha estado sometida a varios eventos de deformación, entre ellos extensión y compresión simultánea en un régimen de convergencia oblicua.

Los depocentros formados en un margen continental pudieron estar limitados por bloques de basamento, los cuales fueron reactivados episódicamente.

Con base en la información sísmica adquirida en este proyecto se puede postular de manera preliminar los principales eventos de deformación para la subcuenca del Sinú:

- Deformación incipiente en el Eoceno Medio. Hacia la base de los sinclinales se observa una deformación previa que solamente afecta la Formación La Risa, cuya distribución es muy local.

- Para el Mioceno Medio, se evidencia un fuerte evento compresivo (transpresivo?) produciendo inversión de fallas normales, fallas de cabalgamiento (thrust faults), erosión en algunas áreas y deposición en los depocentros adyacentes.
- Probablemente en el Plioceno Tardío – Pleistoceno ocurrió un evento transpresivo dando la configuración actual a la subcuenca. Evidenciado principalmente por fallamiento de rumbo (*strike-slip faults*), generación de flores positivas, rotación de sinclinales, basculamiento de bloques y en general la configuración de los principales depocentros como el de Santa Catalina que tiene un gran espesor de sedimentos del Plioceno-Pleistoceno. Se cree que esta época también se presentó el mayor diapirismo de lodo del área.

4.4 Diapirismo y vulcanismo de Lodo

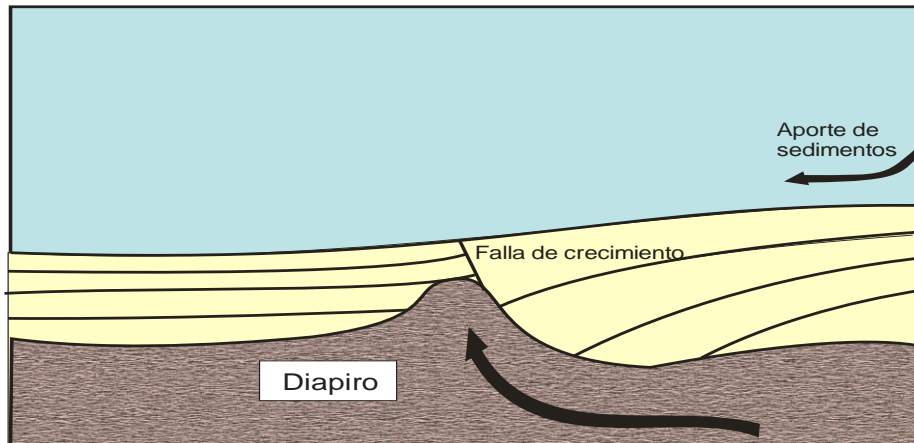
En el área es notoria la presencia de volcanes de lodo y manaderos de aceite y gas. Unos 65 volcanes de lodo han sido mapeados en este sector. El diapirismo de lodo está muy asociado a la tectónica del área. La mayoría de diapiros y/o volcanes de lodo se encuentran cercanos o atravesando alguna de las fallas cartografiadas en superficie.

Un volcán de lodo es la erupción o extrusión en superficie de lodo o shale (arcilla), generalmente acompañada con presencia de gas metano. En su generación se forma un cono solido de lodo alrededor de su orificio u boca. La mayoría tienen forma cónica. El diapiro es la intrusión de lodo o arcilla sin salir a superficie.

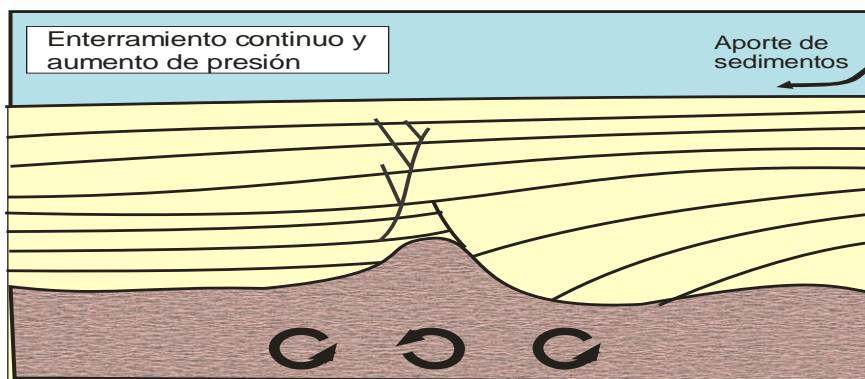
El origen de este fenómeno aún no ha sido estudiado detalladamente en el área. Posiblemente se generaron por sobrepresión de estratos arcillosos del Mioceno Inferior a Medio (Formación Floresanto ?). La sobrepresión pudo haber sido causada por altas ratas de sedimentación, enterramiento rápido y esfuerzos tensionales regionales (*tensile stress*) producidos por la tectónica transpresiva (movimientos rumbo deslizantes, *right-lateral-slip*).

La movilización del shale está relacionada con el grado de compactación o sobrepresión. Las sobrepresiones se pueden explicar por varios mecanismos siendo el más conocido el desequilibrio en la compactación producido por rápido enterramiento ya sea por altas ratas de sedimentación o carga tectónica que inhiben el eficiente escape de agua (Westbrook & Smith, 1983).

La **Figura 10** muestra el mecanismo más conocido de evolución del origen de los diapiros.



Sobrepresión de shales producida por rápido enterramiento, el shale es subcompactado y movilizado.



Incremento en la presión de poro por mecanismos de sobrepresión secundaria, diagénesis mineral, generación de hidrocarburos o compresión

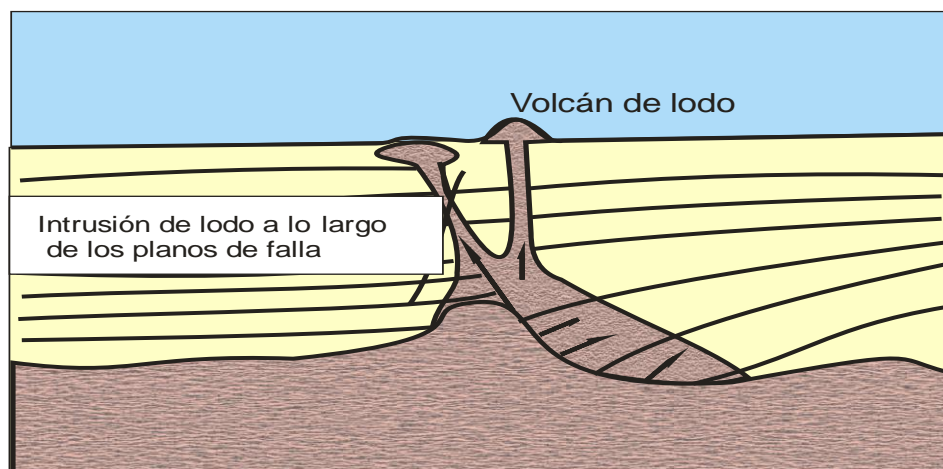


Figura 10. Modelo esquemático formación de diapíros. Modificado de (Westbrook & Smith, 1983)

Las intrusiones de lodo pudieron inicialmente ser controladas por las fallas de rumbo, límites de los depocentros, como se observa en la **Figura 9**, sin embargo no existen evidencias concluyentes. Justo en las zonas de diapiros la resolución sísmica es de mala calidad debido al mismo fenómeno.

En cuanto a la edad del diapirismo no hay certeza, Duque-Caro (1984) postula dos (2) eventos de diapirismo de lodo, uno en el Mioceno Medio y el otro en el Mioceno Tardío-Plioceno. Este estudio postula que el último evento de diapirismo ocurrió en el Plioceno Tardío - Pleistoceno y probablemente aún está activo.

5. INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Se interpretaron aproximadamente 300 Km de información sísmica 2D PSTM y PSDM, proveniente del programa **ANH-SS-2008**, líneas **ANH-SS-2008-01**, **ANH-SS-2008-02**, **ANH-2008-04** y **ANH-SS-2008-06**, adquirido por la compañía Geokynetics y procesado por la compañía Petroseis para la **ANH**. Adicionalmente se incluyeron las líneas más relevantes y de buena calidad de los programas anteriores mencionados en el capítulo 2.

5.1 Interpretación

En la interpretación se siguió la siguiente metodología:

1. Trabajo interdisciplinario-interprete-procesador para obtener la mejor imagen sísmica posible
2. Carga en sistema Geographix 2007.2 de información PSTM y PSDM, final.
3. Integración de información de Geología de superficie, pozos y datos sísmicos
4. Selección horizontes sísmicos - unidades estratigráficas a interpretar
5. Modelo sísmico - estratigráfico - estructural
6. Elaboración de mapas en tiempo y profundidad a partir de la información sísmica respectiva, PSTM y PSDM.
7. Definición y evaluación de áreas de interés prospectivo.

1. Trabajo interdisciplinario intérprete procesador para obtener la mejor imagen sísmica posible.

El procesamiento de los datos sísmicos lo realizó la compañía Petroseis, aplicando secuencias especializadas PSTM y PSDM (migración preapilado en profundidad).

Con el fin de hacer un apropiado seguimiento y control de los productos finales de la adquisición sísmica, se realizaron periódicamente talleres técnicos para evaluar el avance y solución de problemas específicos relacionados con el procesamiento, enfatizando en la solución sísmica de rasgos estructurales, saltos de fallas y continuidad de reflexiones.

Con base en productos obtenidos inicialmente en tiempo y después en profundidad, se integraba la información geológica de superficie existente y se identificaban áreas o sectores problemáticos para una elaboración conjunta de propuesta de soluciones.

La permanente interacción permitió la identificación de los más importantes eventos sísmico-estructurales y por lo tanto, asociar sectores de baja calidad de datos sísmicos con zonas de alta complejidad estructural, diapirismo asociado, o áreas donde quizás los parámetros de adquisición sísmica en superficie no son posiblemente lo mejor diseñados.

Los principales problemas durante el procesamiento, están relacionados con fuertes buzamientos en los flancos de los sinclinales, frecuente fallamiento, eventos tectónicos sobre-impuestos con múltiples orientaciones y desplazamientos horizontales y verticales.

2. Carga en sistema Geographix 2007.2 de información sísmica PSTM y PSDM finales

La carga de información sísmica en el software de interpretación requiere de las siguientes actividades:

- Creación de un proyecto para la carga de información.
- Lectura de parámetros de carga incluidos en el SEG Y: puntos de disparo, CDP (Punto Común en Profundidad) y Coordenadas X.Y.
- Conversión formato SEG Y a archivos 2DS de Geographix.
- Asociación de cada formato 2DS con su respectivo archivo de navegación (UKOOA).
- Verificación de posición X, Y, orientación de la sección sísmica y relación SP /CDP.
- Comparación de archivos 2DS con imágenes digitales y en papel, verificando nivel de referencia, velocidad de corrección y tiempos.

3. Integración de información de geología de superficie, pozos y datos sísmicos

Se cargaron en el sistema mapas integrados de información geológica: Puntos, pozos y geología de superficie a partir de información digital suministrada por los diferentes contratistas involucrados en el proyecto. Se georeferenciaron los mapas geológicos Ingeominas-Geotec (2003) del área de estudio y sectores relacionados, el cual complementó la cartografía geológica de superficie suministrada por Ariana Ltda. En algunos sectores hay evidentes diferencias entre los dos (2) mapas. El de Ariana ofrece mayor control geológico sobre las líneas sísmicas y el de Ingeominas-Geotec cuenta con más datos de control a nivel regional.

Se encontraron algunas incompatibilidades entre los datos de superficie y subsuelo, relacionados principalmente con: fallas no evidentes en la sísmica y lo contrario fallas identificadas en subsuelo y no reconocidas en superficie, vergencia de fallas y correlación entre ellas.

En algunos sectores los contactos formacionales de superficie no coinciden con los rasgos presentes en la sísmica, ejemplo claro se puede observar en la línea ANH-SS-2008-04 en el cruce con la línea **ANH-SS-2008-04**, (**Figura 11**). En otros sectores, algunas de las fallas cartografiadas en superficie corresponden a discordancias.

El carácter regional del programa sísmico, con espaciamiento entre las líneas este-oeste del orden de 20 Km y una sola línea de amarre, evidencia incertidumbres en la correlación de fallas y horizontes interpretados en las 4 líneas del proyecto.

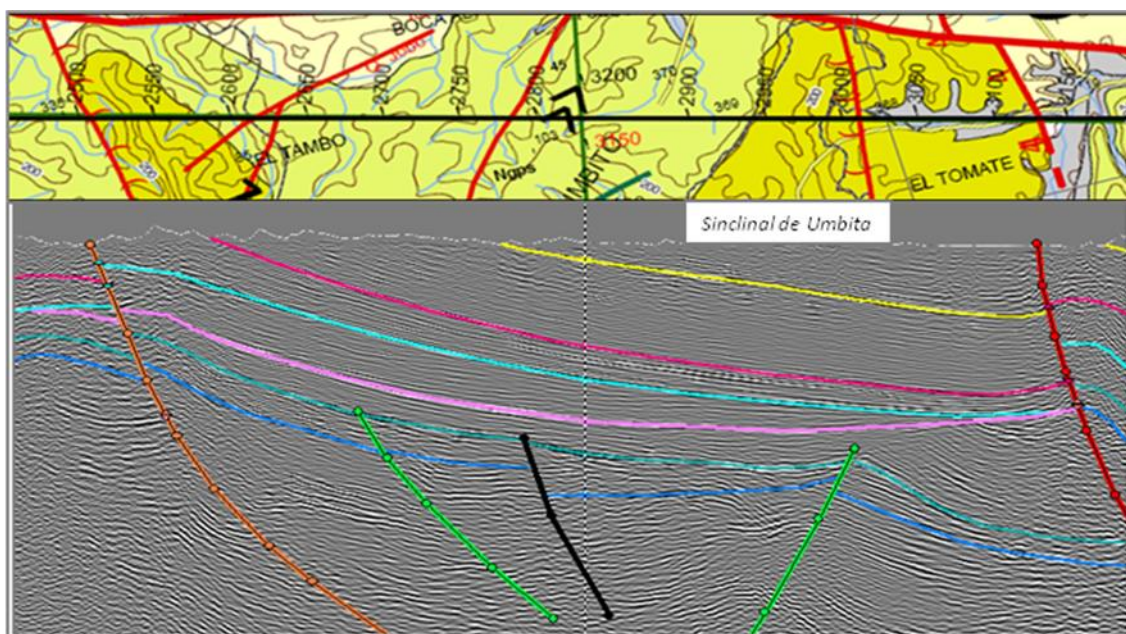


Figura 11. Amarre sísmica - geología de superficie. Note como el sinclinal de Umbita no aflora en superficie.

4. Definición horizontes sísmicos - unidades estratigráficas

La principal herramienta de calibración sísmica fue la geología de superficie, proveniente de los trabajos realizados por Ariana 2008 e Ingeominas - Geotec (2003), integrando y seleccionando datos compatibles con la información sísmica final.

Los límites de secuencias identificados se controlaron donde fue posible con los datos de superficie asociándolos con los horizontes a interpretar y extrapolándolos a todas

las secciones sísmicas. Estos eventos sísmicos también se interpretaron en sectores de baja resolución sísmica, complementando un modelo estructural-estratigráfico coherente para la subcuenca del Sinú.

La información de pozos es escasa para el área de la subcuenca. Los pocos pozos fueron ubicados en altos estructurales, definidos con rasgos superficiales, y atravesaron secuencias monótonas de sedimentos finogranulares, donde fueron asignados términos cronoestratigráficos difíciles de correlacionar a través de toda el área.

Se interpretaron los siguientes horizontes, asociados con los términos litoestratigráficos entre el Eoceno Medio - Tardío (Formación La Risa) y el Mioceno Tardío-Plioceno (Unidad Arenas Monas).

Horizonte Sísmicos - Unidad litoestratigráfica	Edad
➤ Formación Arenas Monas	Mioceno T. - Plioceno Temprano
➤ Formación Morrocoy Pántano	Mioceno Tardío - Plioceno
➤ Formación Pajuil Superior	Mioceno Medio - Tardío
➤ Formación Pajuil Inferior	Mioceno Medio - Tardío
➤ Formación Floresanto	Mioceno Medio - Temprano
➤ Formación Pavo Superior	Mioceno Temprano
➤ Formación Pavo Inferior	Mioceno Temprano
➤ Formación Maralú	Oligoceno
➤ Formación Manantial	Eoceno Tardío
➤ Formación La Risa	Eoceno Medio-Tardío

Ninguno de los (6) seis pozos perforados en la subcuenca del Sinú: Córdoba 1, Córdoba South 1, Arboletes 1X, Piedrecitas 1 (1570-IX), Necoclí 1 y Porquería 1X (1609-IX) alcanzaron el Basamento. El basamento oceánico en este trabajo se postula como un potente paquete de reflectores sísmicos, paralelos y continuos, que se reconocen en la parte más profunda de los sinclinales, identificados con claridad en las secciones sísmicas. Compuesto por basaltos, gabros, rocas máficas, peridotitas, el cual no ha sido reportado en superficie en el área de este estudio.

Dada la característica estratificada de este tipo de basamento, creemos que los reflectores fuertes encontrados hacia la base de la secuencia Terciaria en los sinclinales, representan el basamento oceánico en esta subcuenca. La **Figura 12**

muestra un análogo de corteza oceánica de las Islas Galápagos, constituida principalmente por basaltos interestratificados.



Figura 12. Afloramiento de basaltos en Islas Galápagos, Ecuador. M. Caro (Enero 2009).

5.2 Modelo sísmico-estructural

Los principales elementos sísmico-estructurales identificados en el área del proyecto, corresponden a amplios sinclinales asimétricos con orientación principal sureste noroeste, limitados en sus flancos por un complejo sistema de fallas predominantemente de rumbo (*strike-slip faults*), que forman flores positivas “*Positive flower structures*”, en las cuales se encuentran fallas normales e inversas, su expresión corresponde a trazos rectilíneos con planos de alto ángulo, (**Figuras 13, 14, 15 y 16, Anexos 2, 3, 4 y 5**).

Las fallas de rumbo se evidencian sísmicamente por los cambios observados en la continuidad de los reflectores a lado y lado de los bloques y cambios de espesor entre las unidades involucradas, como se observa en la línea **ANH-SS-2008-04** entre los SP 1430 y 2090, (**Figura 17**).

Figura 13. Sección sísmica PSTM, ANH-SS-2008-01 interpretada, orientación norte sur. Intercepta las líneas este oeste.

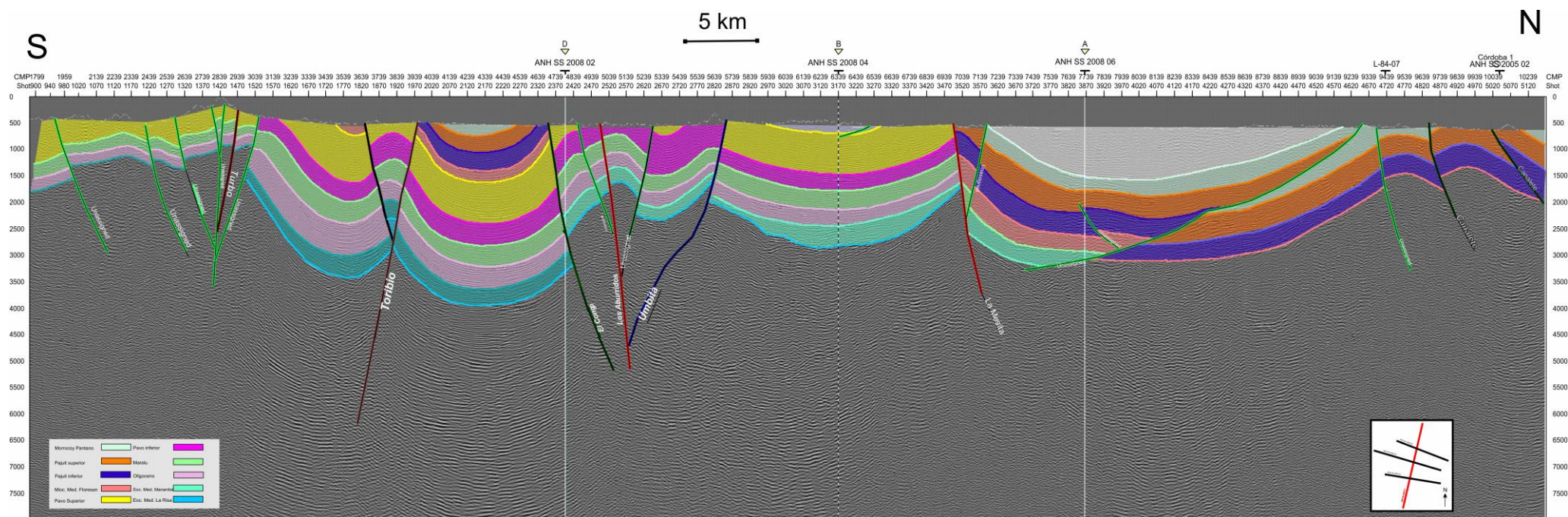


Figura .14 Sección sísmica PSTM, ANH-SS-2008-02 interpretada

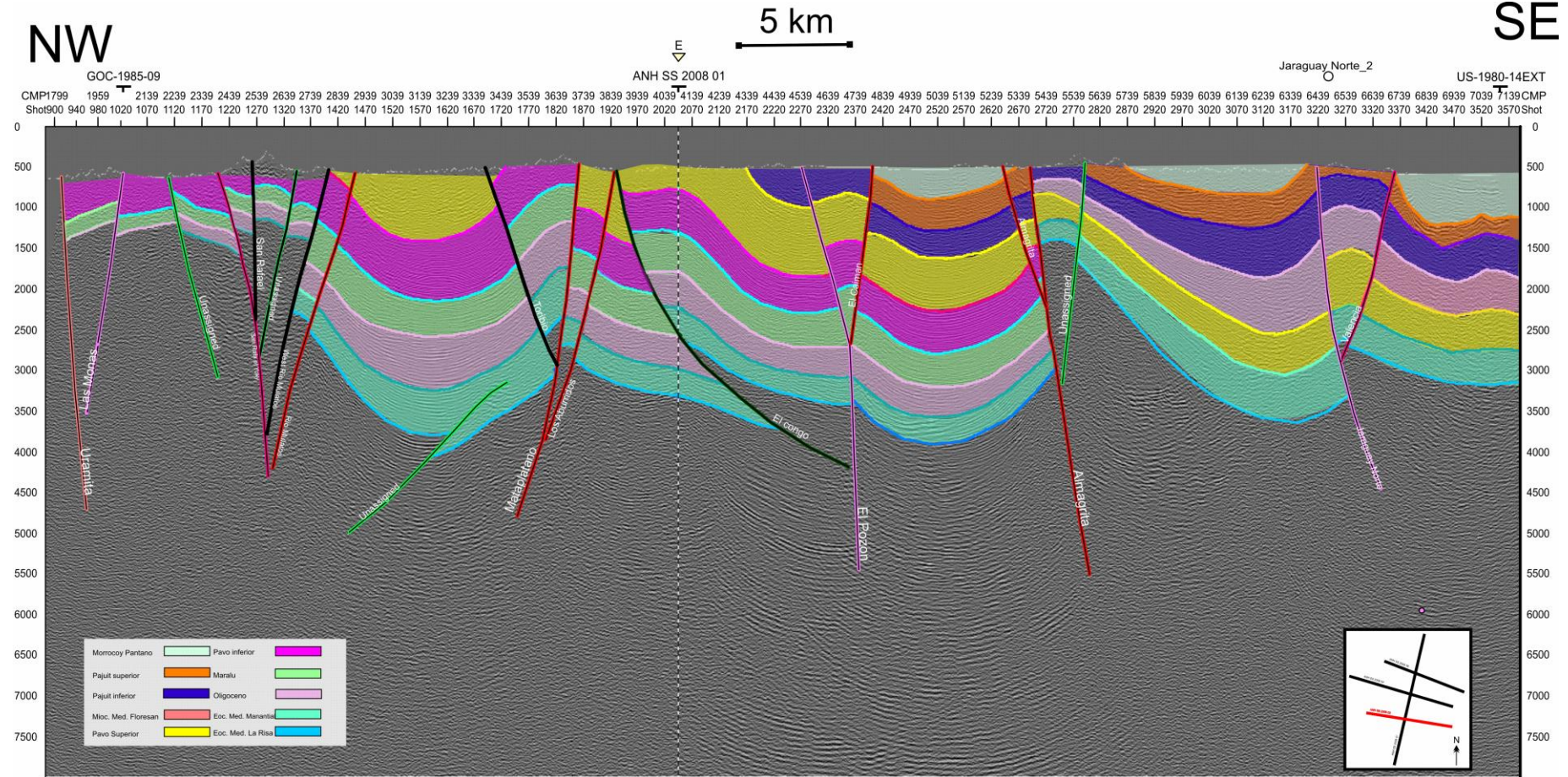
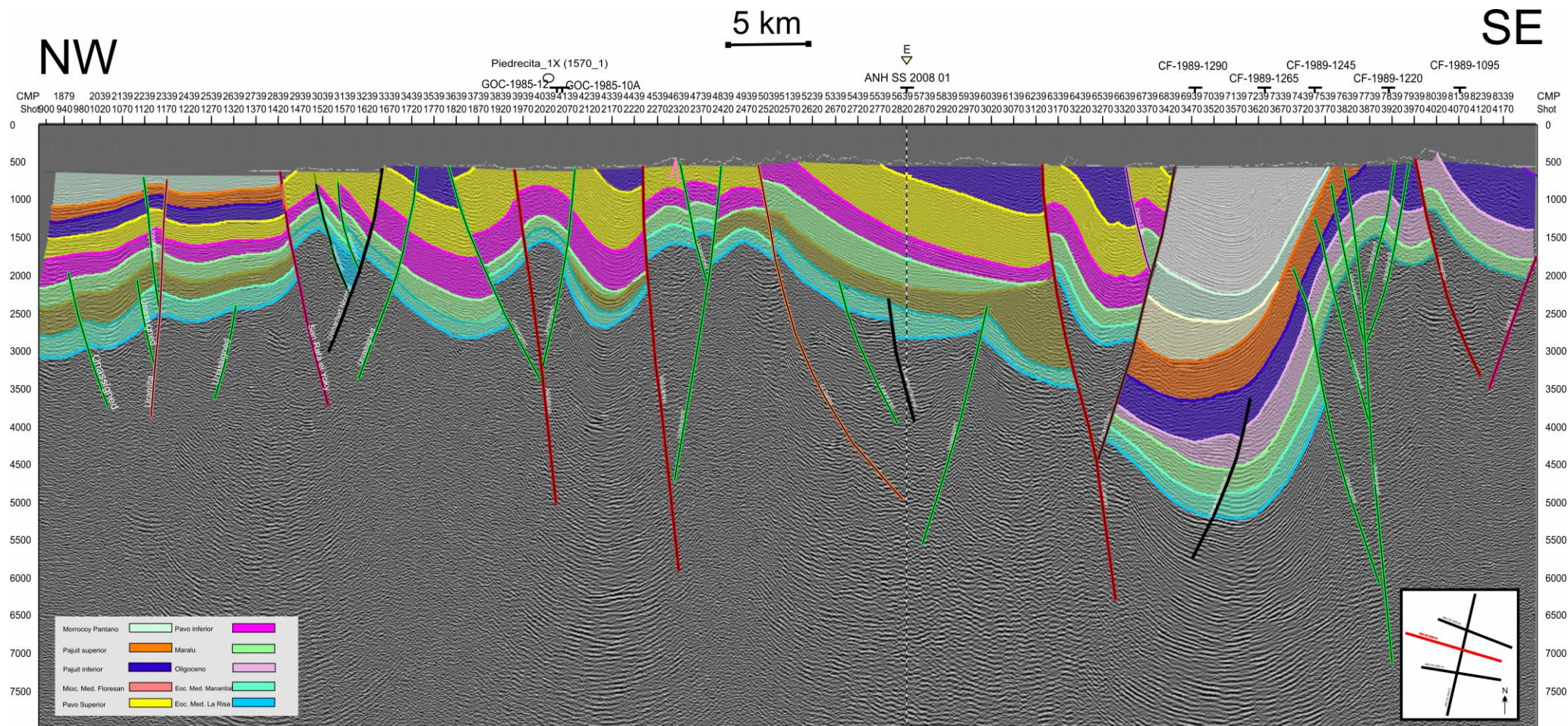


Figura .15 Sección sísmica PSTM, **ANH-SS-2008-04** interpretada



SE



Estos sistemas de fallas exhuman el basamento y constituyen las zonas con mayor prospectividad para hidrocarburos. Asociado a este tipo de trampas se han localizado algunos de los pozos exploratorios perforados en el área.

El diapirismo y vulcanismo de lodo está asociado con fallamiento y sísmicamente está representado por amplias zonas de forma irregular e internamente sin reflectores definidos debido a su litología uniforme y gas disuelto presente en los mismos.

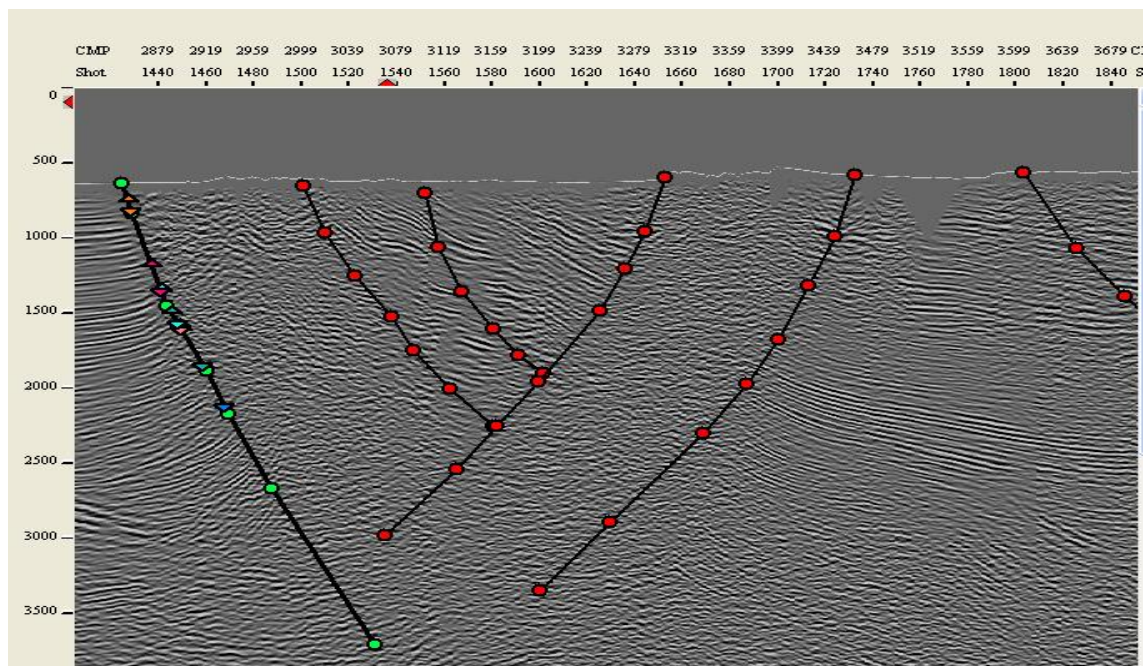


Figura 17. Detalle línea sísmica ANH-SS-2008-04 mostrando complejo sistema de fallas.

A continuación se describen los principales sistemas de fallas observados en el área. Para su comprensión ver **Figuras 13, 14, 15 y 16 y Anexos 2, 3, 4 y 5.**

Sistema de fallas de Uramita - Las Monas

Sistema cartografiado al oeste del área, con orientación principal suroeste-noroeste, se reconoce sobre la línea **ANH-SS-2008-02**, entre los SP 900 y 1040 aproximadamente, su expresión en subsuelo no es confiable.

La mala calidad de los datos sísmicos en este sector, impide reconocer desplazamientos verticales y horizontales y su interés prospectivo. Sin embargo se reconoce un fallamiento inverso, con desplazamientos entre 100 y 150 msec. Las dos fallas asociadas con este sistema son subverticales, con vergencia opuesta, al oeste la falla de Uramita y al este la de las Monas.

Sistema de Fallas San Rafael - Rio Mulatos - El Yoky

Complejo sistema de fallamiento ubicado al oeste del área e interpretado sobre las líneas sísmicas **ANH-SS-2008-02**, entre los SP 1200-1450 y en la línea ANH-SS-2008-04, SP 1400-1730. Sistema de fallamiento de rumbo, limita al oeste el sinclinal de Tulipa. En superficie se reconocen rocas de la Formación Pavo. La calibración de la geología de superficie, los contactos geológicos y las fallas con los rasgos sísmicos interpretados en el sinclinal de Tulipa, sugieren saltos del orden de 100 a 150 mseg.

Sobre la línea **ANH-SS-2008-04**, el sistema es más complejo, se identifican fallas con desplazamientos inverso y normal. Dada la separación de 20 Km entre líneas, no es posible precisar su extensión. Los saltos verticales interpretados sobre esta línea oscilan entre 50 y 200 mseg en sus fallas internas y del orden de 400 mseg en su límite occidental, (Falla de San Rafael El Yoky). En el límite oriental, representado por fallamiento normal, el salto es de aproximadamente 200 mseg.

Sistema de fallas de Toribio - Los Aburridos- Mataplátano

Se reconoce en la sección **ANH-SS-2008-02**, entre los SP 1690 y 1930, representado en sus límites externo occidental y oriental por fallas inversas, formando "*Pop Up structures*". Limita al oriente con el sinclinal de Santa Catalina. Los desplazamientos interpretados varían entre 150 y 200 mseg.

Sistema de fallas Caimán - El Pozón

Interpretado en la línea **ANH-SS-2008-02**, entre los SP 2260 y 2400. Es uno de los sistemas más simples y mejor definidos en la sección sísmica entre las dos fallas con vergencia opuesta que lo componen.

Sistema de Fallas de Almagrita

Es un sistema muy importante, con orientación preferencial Noroeste-Sureste, cartografiada al oeste del área, se reconoce sobre la línea **ANH-SS-2008-02**, SP 900-1040 aproximadamente.

Sistema transcurrente El Congo

Representado principalmente por la Falla El Congo, típica falla de rumbo con desplazamiento dextral (*Right-lateral Strike-Slip fault*), dirección aproximada N30°W cruza la línea **ANH-SS-2008-02**. Entre esta falla y la de Umbita se forma un sistema de flor positiva de aproximadamente 13 km, (**Figura 18**).

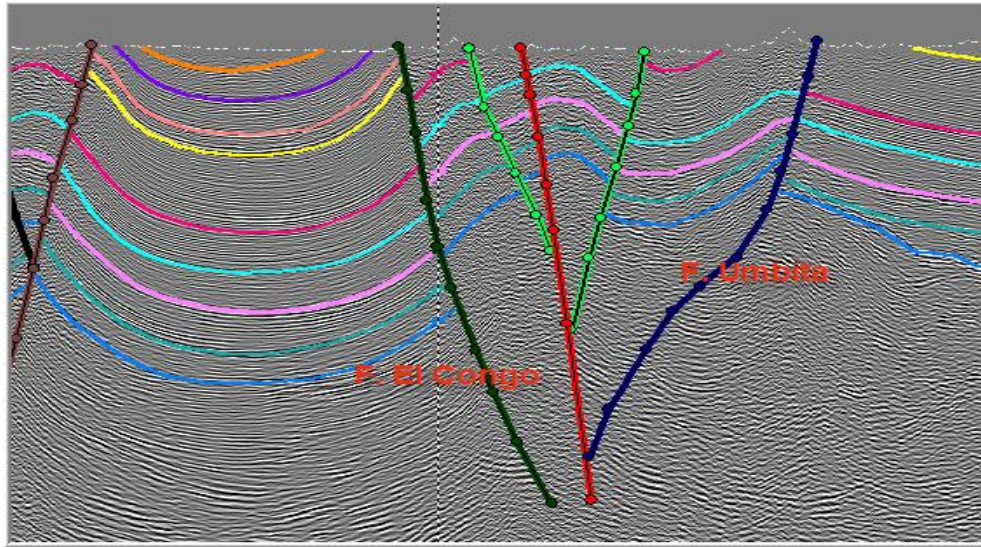


Figura 18. Sistema transpresivo El Congo. Obsérvese la flor positiva formada entre las fallas El Congo y Umbita.

Otros sistemas de fallamiento

Existen otros sistemas de falla identificados en el área por geología de superficie y sísmica, cuya descripción es similar: baja resolución sísmica, altos buzamientos, limitan flancos de amplios sinclinales e importante interés prospectivo. Varias de estas fallas presentan una extensión menor de 10 Km y son secundarias a los eventos principales.

Las **Figuras 13 a 16** y los **Anexos 2, 3, 4 y 5**, sintetizan las principales características estructurales reconocidas en superficie - subsuelo, interpretadas sobre las cuatro (4) secciones sísmicas PSTM adquiridas en el 2008. También presenta una idea preliminar de la prospectividad del área, la cual se amplía en el capítulo respectivo. La calidad de los datos sísmicos es mala en los sectores de mayor fallamiento y diapirismo de lodo, y buena calidad en los sinclinales. Las imágenes sugieren algunas actividades adicionales de exploración.

5.3 Modelo sísmico-estratigráfico

La sísmica adquirida en el 2008 muestra evidencias de continua actividad tectónica en el área, desde el Eoceno Medio hasta el Reciente. La subsidencia en los depocentros fue irregular y localizada, con altas tasas de sedimentación, sedimentación rápida finogranular sindeposicional, ocasionando cambios drásticos de facies, basculamiento y flexión de los sinclinales.

Los espesores sedimentarios varían mucho de un lugar a otro, generalmente más espesos en los núcleos de los sinclinales y acuniándose contra los flancos. Los horizontes interpretados corresponden todos a discordancias, sin embargo no es fácil seguirlos de un sinclinal a otro debido al cambio lateral de facies y por ende de los rasgos sísmicos a seguir, ver **Figuras 19 y 20**.

Al extrapolar los datos de superficie a subsuelo existen diferencias estratigráficas grandes entre la parte oriental y sur-occidental del área. Al oriente es bien reconocida la Formación Floresanto de edad Mioceno Temprano a Medio, la cual comprende un paquete arcilloso en la parte superior, seguido por la arenisca de San Rafael, y unas areniscas inferiores denominadas arenisca de Pavo. Estas últimas consideradas la principal roca almacén de este sector.

Al sur-occidente por el contrario, aflora ampliamente la Formación Pavo. La Formación Floresanto no aflora porque ó fue erodada ó corresponde a la Formación Pavo (Superior e Inferior) datada hasta el momento como del Mioceno Temprano. No se conoce bien la relación genética entre estas dos formaciones. Sin embargo al oriente tampoco se habla de la existencia del Pavo Superior e Inferior formacional del oeste, estratigráficamente se pasa de la Formación Floresanto a Maralú. Estas son inquietudes a resolver en un futuro próximo para clarificar la estratigrafía del área y en especial la distribución areal de la roca almacenadora.

Merece especial atención, la existencia de secuencias que solamente se presentan hacia la base de los sinclinales, las cuales no afloran y por lo tanto no se conocen sus características litológicas, (**Figura 20**). Además de los horizontes cartografiados existen discordancias locales intraformacionales que no se interpretaron por no encontrarse y poderse correlacionar en todos los sinclinales.

Otro intrínquilis en la interpretación estratigráfica es el seguimiento de los horizontes en las zonas estructuralmente más complejas, donde la relación señal ruido es baja y además las secuencias se acunian y se vuelven más delgadas, sin saber con exactitud su continuidad.

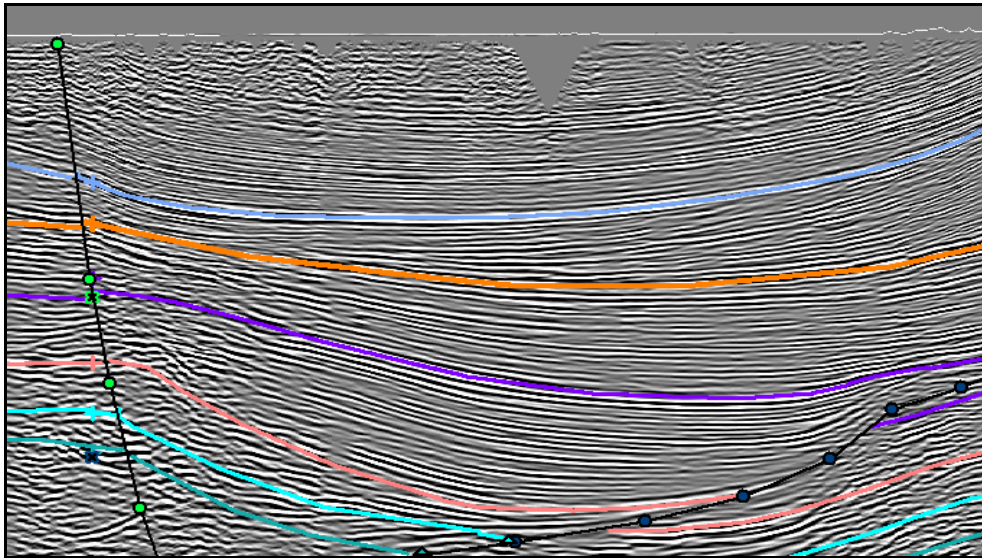


Figura 19. Sección sísmica ANH SS 2008 06, mostrando discordancias y cambios de espesor relacionados.

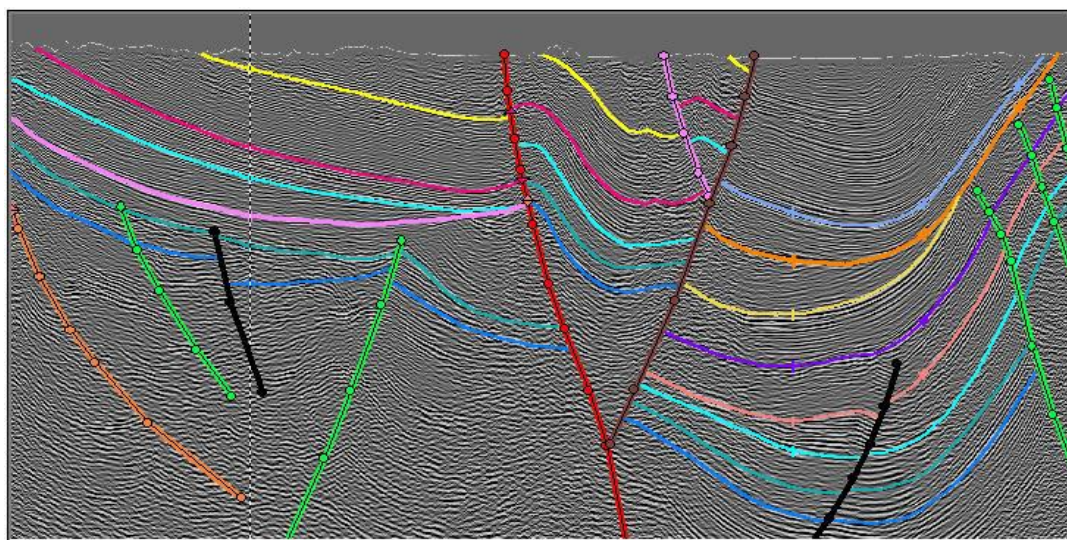


Figura 20. Línea ANH-SS-2008-04 mostrando las principales discordancias, cambios de espesor en los estratos. Note en el sinclinal que la secuencia debajo del horizonte naranja no aflora en superficie.

5.4 Conversión tiempo profundidad

Concluida la etapa de procesamiento de datos en tiempo PSTM, se empezaron a evaluar metodologías para conversión PSTM a PSDM (Migración preapilado en profundidad).

Para definir velocidades de intervalo y promedio para las unidades terciarias perforadas en el área se realizó un inventario pozo a pozo de la información suministrada. Solo el pozo Arboletes 1 tiene registro de velocidad, con el cual se elaboró una tabla integrada de topes, tiempos y velocidades de intervalo y promedio.

Este único dato de referencia no se considera confiable para extenderlo a toda la subcuenca del Sinú, en especial cuando hay tantos cambios en espesor y facies en cada depocentro (**Tabla 5**).

Con el fin de incluir más datos de referencia, se incluyeron datos de velocidades de los pozos San Jorge 1 (Subcuenca de Plato), San Sebastian 1 y Claro 1 (Subcuenca de San Jacinto ?), con los cuales se hicieron tablas similares a Arboletes-1, (**Tablas 6 , 7 y 8**)

Velocidades pozo Arboletes 1			
Formación	Profundidad	Velocidad Intervalo (pies)	Velocidad Intervalo (metros)
Pajuil	184	6897	2102.21
	220	7142	2176.88
	284	6900	2103.12
	370	7300	2225.04
	550	7700	2346.96
	748	8000	2438.40
	800	7700	2346.96
Floresanto	1000	7800	2377.44
Pavo	4001	6899	2102.82
	4039	6333	1930.30
	4099	6000	1828.80
	4527	5844	1781.25
	5018	7014	2137.87
	5538	8666	2641.40
	6069	8850	2697.48
	6512	7383	2250.34
	7007	9900	3017.52
	7164	9235	2814.83

Tabla 5. Registro de velocidad pozo Arboletes-1. Tomado de una imagen, datos escritos a mano.

Velocidades pozo San Jorge 1		
Unidad - Formación	Velocidad Intervalo (pies)	Velocidad Intervalo (metros)
Cuaternario		
Plioceno (Tubará)	8163	2488.08
Mioceno Medio (Porquero)	8708	2654.20
Oligoceno (Ciénaga de Oro)	9127	2781.91
Eoceno Superior (San Jacinto)	8933	2722.78
Basamento	16400	4998.72

Tabla 6. Velocidades de intervalo pozo San Jorge-1.

Velocidades pozo San Sebastián 1		
Unidad - Formación	Velocidad Intervalo (pies)	Velocidad Intervalo (metros)
Cuaternario	8267	2519.78
Mioceno Medio (Porquero)	7514	2290.27
Oligoceno (Ciénaga de Oro)	9632	2935.83
Basamento	8533	2600.86

Tabla 7. Velocidades de intervalo pozo San Sebastián-1.

Velocidades pozo Claro 1		
Unidad - Formación	Velocidad Intervalo (pies)	Velocidad Intervalo (metros)
Cuaternario	5362	1634.34
Plioceno (Tubará)	6332	1929.99
Eoceno superior (San Jacinto)	10727	3269.59
Eoceno Medio (Chengue)	7042	2146.40

Tabla 8. Velocidades de intervalo pozo Claro-1.

Con base en los datos de esos cuatro pozos se elaboró una tabla de velocidades generalizada la cual se le dió a Petroseis para tenerla en cuenta en el análisis de velocidades en la conversión a profundidad, (**Tabla 9**).

Horizonte	Velocidad (metros/seg)
Cuaternario	1600
Morrocoy - Pántano	2000
Pajuil Superior	2100
Pajuil Inferior	2200
Mioceno Medio (Floresanto)	2400
Oligoceno (Maralú)	2600
Eoceno Superior	2900
Eoceno Medio	3000
Horizontes más profundos	3300
Diapiros	3000 ?

Tabla 9. Velocidades definidas para conversión en profundidad a partir de datos de los pozos Arboletes-1, Claro-1, San Jorge-1 y San Sebastián-1. Guía para secciones sísmicas PSDM. Migración preapilado en Profundidad.

Dada la falta de información confiable para este tipo de estudios, se incluyen datos de referencia provenientes de la cuenca *onshore-offshore*, Baram Delta, con la cual la subcuenca del Sinu puede presentar algunas similitudes, (**Tabla 10**).

Las tablas presentan inversiones de velocidad, reflejo de cambios en las condiciones de densidad de la secuencia sedimentaria en profundidad.

TIEMPO DOBLE (mseg)	PROFUNDIDAD (m)	VELOCIDAD DE INTERVALO (m/seg)
500	750	3.000
2.000	3.500	3.500
2.500	4.500	3.600
3.400	5.000	2.950
3.600	5.200	2.900
4.500	6.700	3.000

Tabla 10. Velocidades definidas cuenca Baram Delta. Tomado de Van Rensbergen et. al, 1999.

5.5 Cartografía

Una vez terminada la interpretación de la sísmica se procedió a elaborar los mapas para los horizontes de mayor interés. En tiempo se cartografiaron los topes de las formaciones Pavo Inferior, principal reservorio del área, Maralú y Manantial. Las unidades superiores no se cartografiaron debido a su irregular distribución areal; ya que hacia el occidente y en los sistemas de fallas (*“pop up”*) se encuentran erodadas.

Los **Anexos 10, 11, 12, 13, y 14** presentan los mapas en tiempo doble con intervalo de contornos 100 milisegundos, al tope de las formaciones: Pajuil Inferior, Floresanto, Pavo Inferior, Maralú y Manantial, respectivamente.

Con la interpretación de la sísmica migrada en profundidad (PSDM) se elaboraron los mapas en profundidad para las formaciones Pajuil Inferior, Floresanto, Pavo Inferior, Maralú y Manantial. Los respectivos mapas se encuentran en los **Anexos 15, 16, 17, 18 y 19**.

6. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

Desde el punto de vista petrolífero esta cuenca se considera frontera, la ANH con el programa sísmico adquirido, empieza a orientar la exploración del bloque empezando a definir todos los elementos del sistema petrolífero.

La existencia de un sistema petrolífero está demostrada por la producción reportada en los campos Floresanto y Jaraguay Norte, y por la presencia de rezumaderos, localizados en cercanías o asociados a volcanes de lodo.

El campo Floresanto fue descubierto en 1945. Se perforaron 12 pozos, de los cuales solo fueron productores el 1 y el 6. El pozo Floresanto-1 presentó una producción de 62 BPPD de 51° API en arenas de la Formación Pajuil. El Floresanto-6 produjo 42 barriles de aceite de 50° API, durante las pruebas (en 12 horas). En el Floresanto-11 fluyó algo de aceite (11barriles) de 48° API durante las pruebas, sin embargo no volvió a fluir.

El campo Jaraguay Norte se descubrió en 1981, se perforaron 5 pozos, de los cuales el No. 1 produjo 17 BPPD de aceite de 47° API, durante 1 año.

6.1 Roca Generadora

Aunque la mayoría de autores asumen como roca fuente, las rocas del Cretáceo Superior correspondientes a la Formación Cansona, bien conocida como roca fuente en el Cinturón de San Jacinto; hasta el momento no se ha evidenciado su presencia en la subcuenca del Sinú. Por lo que es necesario buscar la generación en unidades más jóvenes, del Neógeno

Una probable roca generadora de la subcuenca del Sinú podría ser los shales de ambientes más profundos de edad Mioceno Temprano a Medio (Formación Floresanto). Los rezumaderos recolectados en los volcanes de lodo presentes en el área, confirman esta hipótesis (volcanes Arboletes, Puerto Escondido y Guineo). Adicionalmente, BP-Amoco, 1999 reporta que el aceite proviene de rocas siliciclásticas, de ambientes marinos marginales a deltaicos, con gran aporte de materia orgánica terrestre y que correspondería a sedimentos del Oligoceno.

Análisis hechos al crudo encontrado en el pozo Floresanto 6, ubicado al suroriente del área de estudio, muestran que éste fue generado de materia orgánica con aporte terrestre, depositada en ambientes marino deltaicos (Sánchez & Permanyer, 2006). El aceite es producido por carbonatos de la Formación Pajuil.

La generación de aceite del pozo Jaraguay Norte-1 proviene de rocas Terciarias, Formaciones Floresanto y Maralú, esta última puede ser una roca fuente potencial.

El Chert de Candelaria, dada la similitud litológica con la Formación Canzona podría ser una roca fuente potencial.

6.2 Roca Almacenadora

Dado los pocos pozos perforados en el área y la variación lateral de facies asociadas a tectonismo activo, se hace necesario hacer estudios más detallados, a la luz de la estratigrafía de secuencias versus tectónica.

La producción reportada en el campo Floresanto proviene de intervalos arenosos de la Formación Pajuil; sin embargo de los 12 pozos perforados solamente dos pozos produjeron hidrocarburos líquidos.

El campo Jaraguay Norte, al parecer mostró *shows* y baja producción en areniscas denominadas San Rafael y areniscas El Pavo que según las descripciones de este sector pertenecen a la Formación Floresanto.

De acuerdo a Ingeominas-Geotec (2003), a la base de la Formación Manantial se encuentran unos 16 metros de conglomerados y unas arenitas de grano medio de aproximadamente 45 m de espesor. Estas facies por sus características litológicas podrían ser; adicionalmente un buen reservorio. Las arenas también exhiben fracturamiento conjugado, condición que podría aumentar la porosidad, (**Figura 21**).

Sin embargo habría que verificar la existencia de esta secuencia; ya que los registros eléctricos de los pozos perforados muestran poca presencia de paquetes arenosos.

Otra limitación de la subcuenca en cuanto a capacidad de roca almacenadora es que la variación lateral de facies y la tectónica presente en el área dificultan el conocimiento de la geometría y distribución áreal de las posibles rocas almacenadoras.

6.3 Roca Sello

En la cuenca del Sinú, la mayor parte de las secuencias son arcillosas, siendo fácil encontrar sello para los diferentes sistemas. El principal sello conocido en el área es la secuencia arcillosa de la Formación Floresanto, debido a su posición estratigráfica y su gran espesor. Este es el principal sello en el campo Floresanto.

Los shales de la Formación Maralú pueden ser un buen sello para acumulaciones más profundas.

Debido a la estructuración es posible que las fallas inversas y/o de rumbo puedan actuar como sello lateral, al igual que los diapiros. Estos últimos están compuestos en general por arcillolitas de baja densidad que fluyen a superficie.

6.4 Trampa

La subcuenca del Sinú Sur es una provincia estructural y estratigráficamente compleja, compuesta principalmente por sistemas conjugados de fallas de rumbo e inversas de alto ángulo. Las trampas pueden ser estructurales y estratigráficas en aquellos sectores donde se observan “*onlaps*” y truncaciones y donde por efecto del basculamiento de los depocentros probablemente se depositaron sedimentos más gruesos.

Las principales trampas pueden resumirse así:

- Estructuras cerradas formadas entre los diapiros de lodo y las fallas asociadas, dependen de la geometría del diapiro.
- Cierres estructurales asociados a los diapiros.
- Flancos de los sinclinales que se interrumpen lateralmente por la presencia de diapiros; estos últimos actúan como sello.
- Bloque colgante de fallas inversas.
- Trampas estratigráficas asociadas a las discordancias.



Figura 21. Sistema conjugado de fallas en afloramiento de la Formación Manantial. Tomada de Ingeominas-Geotec, 2003.

6.5 Historia de generación y expulsión

La mayoría de modelos de generación y expulsión de hidrocarburos hechos hasta el momento asumen que la Formación Cansona (roca fuente comprobada) está presente a la base de toda la secuencia Terciaria y el modelo tectónico usado generalmente es el de fallas de cabalgamiento.

Debido a la complejidad tectónica y sedimentaria del área, con eventos de deformación y sedimentación simultáneos, con subsidencia irregular y altas tasas de sedimentación localizada, se hace necesario hacer modelamiento específico para cada depocentro, ya que cada uno tiene su propia historia térmica, de subsidencia, de deformación y de depositación.

Por lo tanto los momentos de generación y expulsión varían mucho de un punto a otro en esta subcuenca dependiendo de la historia de enterramiento, depositación y deformación en cada sector.

Para la cuenca del Sinú, en general se cree que existen 2 pulsos de expulsión relacionados con los principales eventos tectónicos. La generación procedente de rocas del Oligoceno al Mioceno Medio probablemente empezó en el Plioceno? y continúa hasta el presente.

6.6 Migración

La presencia de numerosos rezumaderos de aceite y gas da fe de la migración de hidrocarburos en el área. Sin embargo, con una historia evolutiva tan compleja cada “lead” debe ser analizado cuidadosamente ya que así como puede haber acumulaciones, también pudo haber remigración y destrucción de las trampas anteriormente formadas.

Las vías principales de migración son las fallas preexistentes invertidas, fallas normales y de rumbo y el diapirismo activo, las cuales han permitido también su salida a superficie.

Por la tectónica tan activa se puede concluir que las distancias de migración son relativamente cortas, desde zonas más profundas de los sinclinales o depocentros hacia sus flancos que constituyen trampas de interés “*Sub reverse Faults*”. Lo cual explica la presencia de abundantes rezumaderos asociados a fallas en el área, (**Figura 22**).

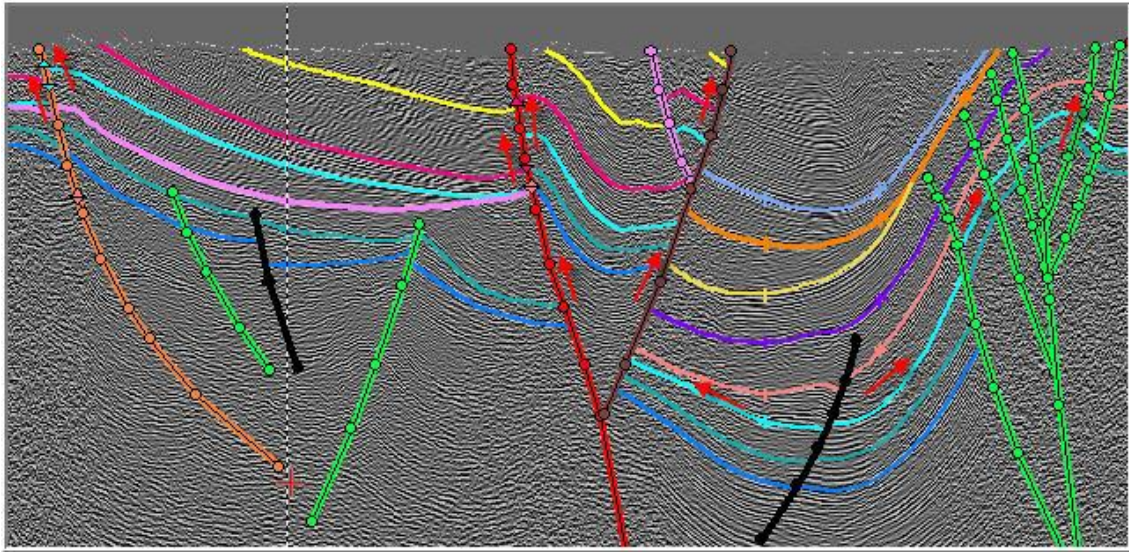


Figura 22. Esquema vías de migración en un sector de la línea ANH-SS-2008-04

6.7 Carta de eventos

Con base en la interpretación e integración de la información geológica y geofísica disponible y teniendo en cuenta los elementos y procesos del sistema petrolífero descritos arriba se elaboró una carta de eventos generalizada para la subcuenca del Sinú Sur, (**Figura 23**).



Figura 23. Carta de eventos generalizada para la subcuenca Sinú Sur.

En general, en la subcuenca se cuenta con dos intervalos generadores y al menos uno de roca almacenadora, postulando así la existencia de un sistema petrolífero probado: Terciario - Pavo. Durante el Plioceno Tardío - Pleistoceno ocurrió el evento de deformación más importante, momento en el que se debieron formar las principales trampas. La generación procedente de rocas del Oligoceno al Mioceno Medio,

probablemente empezó en el Plioceno - Pleistoceno y continúa en el presente. La preservación se inicia en el Mioceno Medio. Se tienen dos (2) momentos críticos, coincidentes con los dos eventos de deformación más fuertes, Mioceno Medio y Plioceno Tardío - Pleistoceno.

7. POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO

Aunque la sísmica adquirida es de reconocimiento, con separación de 20 Km entre líneas y una de amarre norte sur, se identificaron una serie de áreas de interés exploratorio “leads”, para los cuales es necesario realizar actividades adicionales de exploración, dependiendo de su extensión, calidad de datos sísmicos, horizontes de interés prospectivo, etc.

Los principales riesgos geológicos evidentes para la subcuenca del Sinú son: definición estructural y predicción de la distribución y calidad de los reservorios. Hacia estos dos elementos deben estar dirigidas las siguientes actividades exploratorias, las cuales se sintetizan a continuación, sin embargo cada “lead” requiere su propio diagnóstico:

- Cartografía geológica de superficie de detalle a escala 1:25.000 o mayor, en sectores específicos.
- Perforación estratigráfica, incluyendo: corazonamiento de algunas unidades, análisis petrofísicos, estudios geoquímicos y bioestratigráficos, que ayuden a definir una nomenclatura estratigráfica de uso generalizado para la industria, reduciendo confusiones por la proliferación de términos
- Establecer apropiadas secuencias de procesamiento que pueden mitigar el efecto nocivo de los buzamientos altos e inversiones estructurales en las zonas de interés.
- Reprocesamiento sísmico dependiendo de la profundidad de los objetivos.
- Adquisición sísmica de semidetalle para definir mejor la continuidad de los rasgos estructurales de interés prospectivo y una mejor correlación entre fallas.
- Adquisición sísmica de detalle en áreas con buena resolución sísmica y prospectividad

Áreas de Interés Exploratorio

Se identificaron potenciales trampas estructurales y estratigráficas con base en la nueva información geológica adquirida por la **ANH** en la subcuenca del Sinú, en síntesis estas áreas de interés están asociadas con:

- Altos estructurales relacionados con amplios anticlinales fuertemente fallados, los cuales han sido el principal objetivo exploratorio de los pocos pozos perforados en el área. Pozos: Piedrecita-1, Necocli-1 y Córdoba-1.
- Cierres “*sub reverse faults*” (Bloque yacente de fallas inversas de alto ángulo), que cortan flancos de amplios sinclinales. Los cuales presentan mejor definición sísmica.
- Trampas estratigráficas relacionadas con “*onlap*” y “*truncamiento*” presentes dentro de las complejas y potentes secuencias estratigráficas depositadas en los sinclinales.
- Para la documentación de cada oportunidad exploratoria, se presenta una ficha técnica por lead, las cuales se presentan en el **Anexo 20**.

7.1 Integración métodos potenciales – rasgos estructurales

El anexo 24, superposición del mapa de basamento, tomado de Graterol, 2009 con el mapa de rasgos estructurales, presenta los principales elementos geológicos definidos con cada una de estas herramientas.

No se observa una correlación confiable entre altos y bajos estructurales del basamento.

Los sinclinales definidos sísmicamente coinciden en algunos casos con altos gravimétricos ó magnetométricos y en otros no.

Consideramos que la definición mostrada por la información sísmica es más confiable. Es necesario revisar los datos de entrada en el modelamiento gravimétrico-magnetométrico para obtener conclusiones coherentes.

Parte de esta discrepancia está relacionada con la ausencia de información directa del subsuelo, (perforación exploratoria) y las hipótesis presentadas encontradas en la literatura geológica es amplia y a la vez divergente.

CONCLUSIONES

La información sísmica adquirida con el programa sísmico **ANH-SS-2008**, permitió definir los principales rasgos estructurales y estratigráficos de la subcuenca del Sinú, identificar y delinear las principales áreas de interés prospectivo, cualificar los principales riesgos geológicos y proponer futuras actividades de exploración por "lead", para precisar el potencial exploratorio y cuantificar sus reservas.

La principal herramienta de calibración fue la cartografía geológica realizada para el proyecto por Ariana 2008, complementándola con la cartografía realizada por Ingeominas-Geotec, 2003.

El área del proyecto está caracterizada por amplios sinclinales asimétricos con orientación predominante norte sur, limitados en los flancos por complejos sistemas de fallamiento de rumbo.

La actividad simultánea fallamiento-sedimentación, limita la correlación confiable entre eventos sísmicos y/o estratigráficos en este estado de conocimiento del área, "*Wrench Growth faulting*".

El basamento sísmico se interpreta como gruesos y uniformes paquetes de reflectores paralelos, los cuales están compuestos, de acuerdo a la literatura, por: Basaltos, gabros, serpentinitas, peridotitas, etc. Excelentes ejemplos de su configuración en superficie están expuestos en las Islas Galápagos, Ecuador.

La potencia de las rocas sedimentarias del Eoceno Superior al Reciente, acumuladas en los sinclinales puede variar entre 5.500 y 6.500 metros, disminuyendo su espesor hacia el occidente.

Los principales reservorios de interés para la subcuenca del Sinú los constituyen los niveles de arenisca de la Formación Pavo al occidente de la cuenca, las areniscas de San Rafael y Pavo dentro de la Formación Floresanto (al oriente del área), algunas areniscas de la Formación Pajuil y probablemente conglomerados y areniscas a la base de la Formación Manantial.

El sello lo constituyen las secuencias finas de las formaciones Floresanto y Maralú.

La roca generadora podría estar representada por los shales de ambientes profundos de las formaciones Floresanto y Maralú.

Las principales trampas están relacionadas con:

- Altos estructurales relacionados con amplios anticlinales fuertemente fallados, los cuales han sido el principal objetivo exploratorio de los escasos pozos perforados en el área.
- Cierres “*sub reverse faults*”, que cortan flancos de amplios sinclinales, los cuales presentan mejor definición sísmica.
- Trampas estratigráficas relacionadas con “*onlap*” y “*truncación*” presentes dentro de las complejas y potentes secuencias estratigráficas depositadas en los sinclinales.
- En la carta de eventos propuesta es evidente que los procesos de sedimentación, compactación, maduración, generación, entrapamiento y migración ocurrieron en un lapso de tiempo geológico relativamente corto debido a enterramiento rápido y altas tasas de sedimentación, no análogos con la cuenca adyacente de San Jacinto.

RECOMENDACIONES

- Dada la importancia de la presencia de diapiros y volcanes de lodo en el área se recomienda:
 - Datar los sedimentos producto de este fenómeno.
 - Hacerles análisis mineralógicos (DRX y SEM) y geoquímicos para conocer su proveniencia e indirectamente la edad del diapirismo.
- Revisar la información bioestratigráfica del área, colectada por Ingeominas, 2003 para corroborar las edades de las diferentes formaciones.
- Realizar procesamientos especializados, en áreas de interés, adicionales a PSTM y PSDM, con el fin de mejorar la definición estructural y estratigráfica de los “leads”.
- Adquirir nueva información sísmica de semidetalle de las áreas de mejor prospectividad.
- Mejorar el conocimiento geológico de la zona y detallar los sectores de interés con el fin de correlacionar la información de superficie con datos de profundidad.
- En las áreas de interés realizar una geología de superficie detallada y ojalá con la sísmica en mano para poder correlacionar con ella lo observado en campo.
- La estratigrafía merece especial atención, por lo que se recomienda hacer un estudio detallado, tanto en campo como en subsuelo, ya sea haciendo pozos someros “*slim holes*” ó dos pozos estratigráficos para correlacionar eventos y poder conocer la distribución de las rocas almacenadoras y generadoras, en al menos dos puntos de la subcuenca.
- Sugerimos caracterizar la roca generadora con muestras que pertenezcan a la subcuenca y usando la nomenclatura de la misma. La mayoría de estudios hablan de las formaciones Ciénaga de Oro y Porquero como roca fuente y estas formaciones pertenecen a la cuenca de San Jacinto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ángulo, A., 2007. Reprocesamiento de sísmica rápida al sur del prisma de acreción de Barbados y delimitación de intrusiones de lodo en la zona. Proyecto de grado Universidad Simón Bolívar, 110 pp.

Ariana Ltda, 2009. Geología a lo largo de líneas del programa sísmico Sinú Sur 2D, mapa Geológico, escala 1:100.000, Geokinetics para ANH.

BP- Amoco, 1999. North coast petroleum geochemistry, Colombia, 21 pp.

Caro, M., 2003. Structural evolution of the San Jacinto fold belt, NW Colombia. University of Calgary. Thesis.

Duerto, L., & McClay, K., 2002. 3D geometry and evolution of shale diapirs in the Eastern Venezuelan Basin. 3 posters.

Duque-Caro, 1984. Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinú-San Jacinto terrane, southwestern Caribbean borderland. GSA, Memoir 162, 303-316.

Graterol, V., 2009. Levantamiento Gravimétrico y magnético terrestre Sinú Sur (Cuenca Sinú-San Jacinto) - Litoral Caribe de Colombia. Para ANH, Informe final de interpretación.

Guzmán, G., Gómez, E. y Serrano B., 2004. Geología de los cinturones del Sinú, san Jacinto y borde occidental del valle Inferior del Magdalena Caribe Colombiano, escala 1:300.000, reporte Ingeominas, Bogotá.

Ingeominas, 2003. Geología de los Cinturones Sinú-San Jacinto Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lórica, 59 Mulatos, 60 canalete, 61, Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000, Memoria explicativa, por Geotec Ltda., 225 pp.

Oppenheim, V., 1956. Sinu basin in Colombia may produce new reserves. Dallas, 32 pp.

Petróleos Colombo Brasileños, S.A., 1978. Geología general del área del río Sinú y breve análisis de sus posibilidades petrolíferas, reporte 374.

Sánchez, C. and Permanyer, A, 2006. Origin and aiteration of oils and oil seeps from the Sinú-san Jacinto Basin, Colombia. Organic Geochemistry, www.elsevier.com/locate/orggeochem, 15 pp.

Van Rensbergen, P., Morley, C., Ang, D., Hoan, T., Lam, N., 1999. Structural evolution of shale diapirs from reactive rise to mud volcanism: 3D seismic data the Baram delta, offshore Brunei Darussalam. Journal of the geological Society, Westbrook & Smith, 1983.