



**INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN SÍSMICA
COMPONENTE HORIZONTAL Y VERTICAL**

**Elaborado por: PETROSEIS LTDA.
Elaborado para: ANH.**



**Programa: ANH LÍNEA REGIONAL
TRASANDINA 4A
Fecha: 30 DE SEPTIEMBRE DE 2011**

**PetroSeis Ltda.
Calle 94A # 13-59 Of. 201
Bogotá, D.C. – Colombia
TEL. (571) 6237493
Fax (571) 6237729**

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	7
2. INTRODUCCIÓN	8
3. OBJETIVOS.	8
4. ALCANCES DEL ESTUDIO	8
5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
6. GEOLOGÍA REGIONAL	11
6.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL	11
6.2 MARCO TECTÓNICO SEDIMENTARIO	12
6.2.1 <i>Geología del Cinturón Plegado de Sinú</i>	12
6.2.2 <i>Geología del Cinturón Plegado de San Jacinto</i>	13
6.2.3 <i>Geología del Valle Inferior de Magdalena</i>	14
6.2.4 <i>Geología del Valle Medio de Magdalena</i>	14
6.3 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	17
6.3.1 <i>Sistema Petrolero del Cinturón del Sinú</i>	17
6.3.2 <i>Sistema Petrolero del Cinturón de San Jacinto</i>	17
6.3.3 <i>Sistema Petrolero del Valle Inferior de Magdalena</i>	19
7. CALIDAD DEL DATO SÍSMICO	20
8. INTERPRETACIÓN	25
8.1 ANTECEDENTES	25
8.2 BASES DE DATOS	27
8.2.1 <i>Columnas Estratigráficas</i>	27
8.2.2 <i>Mapas Geológicos de Superficie</i>	29
8.2.3 <i>Horizontes Interpretados</i>	30
8.3 INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA Y ESTILOS ESTRUCTURALES	33
8.3.1 <i>Interpretación Sismo-Estratigráfica</i>	33
8.3.2 <i>Estilos Estructurales Definidos</i>	42
8.3.3 <i>Diferentes dominios tectónicos de la Sección Córdoba-Antioquia</i>	42
8.3.4 <i>Estilos Estructurales Definidos, VM</i>	53
8.3.5 <i>Dominios Tectónicos</i>	53
9. SÍSMICA MULTICOMPONENTE Y ATRIBUTOS SÍSMICOS	54
9.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA PS	54
9.2 INVERSIÓN ACÚSTICA PP	55
9.3 INVERSIÓN SÍSMICA MULTICOMPONENTE (ZP, ZPS)	56
9.4 INVERSIÓN CONJUNTA DE ONDA CONVERTIDA	57
9.5 INVERSIÓN PS DE ONDA CONVERTIDA	58



10. INTEGRACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROSPECTOS.....	59
11. PRODUCTOS FINALES.....	71
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
13. REFERENCIAS	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL PROGRAMA ANH LÍNEA REGIONAL TRASANDINA 4A	9
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROGRAMA ANH LÍNEA REGIONALTRASANDINA 4A.....	10
FIGURA 3. UBICACIÓN DE LAS CUENCAS INTERCEPTADAS POR EL PROGRAMA SÍSMICO ANH-TR-2006-04A	11
FIGURA 4. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES BLOQUES DEL CINTURÓN PLEGADO DE SAN JACINTO	18
FIGURA 5. ESPECTROS DE AMPLITUD DE LAS SECCIONES SÍSMICAS... ..	20
FIGURA 6. REFLECTORES SÍSMICOS DE ONDA P (ARRIBA) Y ONDA CONVERTIDA (ABAJO) PARA LA SECCIÓN BOLÍVAR-SANTANDER DE LA LÍNEA TRANSANDINA	21
FIGURA 7. REFLECTORES SÍSMICOS DE ONDA P (ARRIBA) Y ONDA CONVERTIDA (ABAJO) PARA UN SEGMENTO DE LA SECCIÓN BOLÍVAR-SANTANDER DE LA LÍNEA TRANSANDINA CON LA INTERPRETACIÓN DE LOS HORIZONTES MÁS RELEVANTES ...22	
FIGURA 8. REFLECTORES SÍSMICOS DE ONDA P (ARRIBA) Y ONDA CONVERTIDA (ABAJO) PARA UN SEGMENTO DE LA SECCIÓN CÓRDOBA-ANTIOQUIA DE LA LÍNEA TRANSANDINA.....	23
FIGURA 9. REFLECTORES SÍSMICOS DE ONDA P (ARRIBA) Y ONDA CONVERTIDA (ABAJO) PARA UN SEGMENTO DE LA SECCIÓN BOLÍVAR-SANTANDER DE LA LÍNEA TRANSANDINA CON LA INTERPRETACIÓN DE LOS HORIZONTES MÁS RELEVANTES.	24
FIGURA 10. MODELO SÍSMICO ESTRUCTURAL PRESENTADO POR JIMÉNEZ.....	25
FIGURA 11. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA EN EL CUAL SE MUESTRAN LOS INTERVALOS DE ROCA GENERADORA Y ROCA YACIMIENTO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO	26
FIGURA 12. INTERPRETACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA DEL VALLE MEDIO DE MAGDALENA.....	27
FIGURA 13. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PARA LA SECCIÓN CÓRDOBA-ANTIOQUIA, SINÚ-SAN JACINTO Y EL VIM.....	28
FIGURA 14. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DEL VALLE MEDIO DE MAGDALENA.....	29
FIGURA 15. LÍNEAS SÍSMICAS PERTENECIENTES AL PROGRAMA SÍSMICO TRASANDINA SOBRE EL MAPA GEOLÓGICO DE COLOMBIA DE SUPERFICIE 1:500.000 (INGEOMINAS, 2007).....	30
FIGURA 16. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE HORIZONTES Y UNIDADES INTERPRETADAS EN LA SECCIÓN CÓRDOBA - ANTIOQUIA, ÁREA DEL SINÚ, SAN JACINTO Y VIM.....	32
FIGURA 17. SECCIÓN SÍSMICA CÓRDOBA - ANTIOQUIA. DEFINICIÓN DE HORIZONTE SOBRE LÍNEA ANH-TR-2006-04A. ...	34
FIGURA 17A..ZOOM DE LA SECCIÓN SÍSMICA CÓRDOBA – ANTIOQUIA, CPS. LÍNEA ANH-TR-2006-04A	35
FIGURA 17B..ZOOM DE LA SECCIÓN SÍSMICA CÓRDOBA – ANTIOQUIA, CPS. LÍNEA ANH-TR-2006-04A	36
FIGURA 17C. ZOOM DE LA SECCIÓN SÍSMICA CÓRDOBA – ANTIOQUIA, CPS. LÍNEA ANH-TR-2006-04A.	37
FIGURA 18. MAPA DEL HORIZONTE D3.....	38
FIGURA 19. MAPA DEL HORIZONTE D4.....	38
FIGURA 20. MAPA DEL HORIZONTE D5.....	39
FIGURA 21. MAPA DEL HORIZONTE D6.....	39
FIGURA 22. MAPA DEL HORIZONTE D8.....	40
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE UNIDADES EN EL VIM, SUB CUENCA DE SAN JORGE.. ..	42
FIGURA 24. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE HORIZONTES Y UNIDADES INTERPRETADAS EN LA SECCIÓN BOLÍVAR - SANTANDER.	44
FIGURA 25. SECCIÓN SÍSMICA BOLÍVAR-SANTANDER. DEFINICIÓN DE HORIZONTE SOBRE LÍNEA ANH-TR-2006-04A....	45

FIGURA 26. MAPA DEL HORIZONTE D1.....	46
FIGURA 27. MAPA DEL HORIZONTE D2.	47
FIGURA 28. MAPA DEL HORIZONTE D3.....	48
FIGURA 29. MAPA DEL HORIZONTE D4.....	49
FIGURA 30. MAPA DEL HORIZONTE D6.....	50
FIGURA 31. <i>FLATTEN</i> D2.....	52
FIGURA 32. <i>FLATTEN</i> DE D3..	52
FIGURA 33. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA INVERSIÓN ACÚSTICA BASADA EN UN MODELO..	56
FIGURA 34. PROPAGACIÓN DE ONDA PP Y ONDA CONVERTIDA (PS).	57
FIGURA 35. MAPA BASE DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LOS <i>LEADS</i> DEFINIDOS EN EL PRESENTE TRABAJO.....	60
FIGURA 36. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> A1 Y A2.	62
FIGURA 37. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO EL <i>LEAD</i> A3.....	63
FIGURA 38. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> A4, A5, A6 Y A7.....	64
FIGURA 39. PERFILES DE IMPEDANCIA ACÚSTICA PS MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> A4, A5, A6 Y A7.....	65
FIGURA 40. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> A8, A9 Y A10	66
FIGURA 41. SECCIÓN BOLÍVAR-SANTANDER DE LA LÍNEA SÍSMICA TRANSANDINA CON LOS <i>LEADS</i> DEFINIDOS EN EL PRESENTE TRABAJO	67
FIGURA 42. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> A8, A9 Y A10.....	68
FIGURA 43. PERFIL DE IMPEDANCIA PS MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> B1 Y B2	69
FIGURA 44. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS <i>LEADS</i> B3 Y B4	70



LISTA DE TABLAS

TABLA 1. HORIZONTES DE LA SECCIÓN CÓRDOBA-ANTIOQUIA.....	31
TABLA 2. HORIZONTES INTERPRETADOS Y SU CORRESPONDENCIA ESTRATIGRÁFICA Y TECTÓNICA	40
TABLA 3. HORIZONTES DE LA SECCIÓN BOLÍVAR-SANTANDER	43
TABLA 4. HORIZONTES INTERPRETADOS Y SU CORRESPONDENCIA ESTRATIGRÁFICA Y TECTÓNICA	50
TABLA 5. LEADS IDENTIFICADOS EN LA LÍNEA REGIONAL TRANSANDINA.....	60



1. RESUMEN EJECUTIVO

Nombre del servicio:	Interpretación de Datos Sísmicos.
Proyecto:	ANH Línea Regional Trasandina 4A 371,60 km.
Línea Sísmica:	Regional Trasandina.
Datos Interpretados:	PSTM Componente Vertical. PSTM Componente Horizontal.
Fecha de Interpretación:	Agosto de 2011.
Compañía:	PetroSeis Ltda.
Responsables:	
Por PETROSEIS:	Enrique García. Gerente General. Luis A. Espinel. Geólogo/Analista Líder de Procesamiento.
Por IGS:	Jesús Sierra. Control de Calidad del Procesamiento. Marlene Bonilla. Gerente de Proyecto. Crelia Padrón. Intérprete Senior.
Por ANH:	Cristian Peñafort. Geólogo / Subdirección Técnica.

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe presenta la integración de la interpretación conjunta de sísmica PP y PS con atributos de inversión sísmica multicomponente, para la identificación de *leads* en el Programa ANH Línea Regional Trasandina 4A, en la línea sísmica Regional Trasandina.

El programa ANH Línea Regional Trasandina 4A es un levantamiento 2D adquirido en el año 2006 en las cuencas Sinú San Jacinto, Valle Inferior de Magdalena y Valle Medio de Magdalena, realizado para la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH-. Consiste en una (1) línea sísmica dividida en dos (2) secciones: la Sección Occidental (Córdoba-Antioquia) y la Sección Oriental (Bolívar-Santander). Cuenta con 13878 disparos y un total de 371,60 kilómetros.

El informe muestra los resultados de la interpretación conjunta PP y PS, donde se cartografiaron cinco (5) horizontes (discordancias) para cada sección, y se definieron los estilos o dominios estructurales presentes en el área.

Adicionalmente se muestra la contribución de la interpretación de onda PS al entendimiento de los eventos sísmicos correlacionados. Finalmente, en el informe se describen los procesos de inversión y se integran estos resultados para la clasificación de los distintos tipos de trampas e identificación de *leads*.

3. OBJETIVOS

- Interpretar de manera conjunta las componentes verticales y horizontales de las secciones sísmicas en tiempo del programa sísmico Línea Regional Trasandina 4A – 371,60 km, adquirido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-.
- Identificar posibles oportunidades a partir de la integración de los resultados de la interpretación estructural y de la inversión sísmica multicomponente.

4. ALCANCES DEL ESTUDIO

Para la interpretación conjunta de componentes verticales y horizontales de la sísmica y la identificación de prospectos en el programa ANH Línea Regional Trasandina 4A, se realizaron las siguientes actividades:

- **Preliminar:** Revisión del marco tectónico-estructural del área de estudio.
- **Procesamiento Especializado:** Revisión y control de calidad del procesamiento sísmico de las líneas multicomponente. Análisis de pozos vecinos (disponibles) que permitieron la construcción del modelo de velocidad de ondas P y S. Inversión sísmica multicomponente y cálculo de impedancias.
- **Interpretación PP y PS:** Interpretación estructural conjunta de secciones de onda P y onda S en tiempo, de los límites de secuencias sísmicas asociados a topes de formaciones y horizontes sísmicos de interés prospectivo. Definición de los estilos estructurales en el área de estudio
- **Integración:** Interpretación integrada usando resultados de la interpretación estructural-estratigráfica y de la inversión sísmica para identificar posibles oportunidades.
- **Leads:** Identificación, localización, descripción y clasificación de los diferentes prospectos.

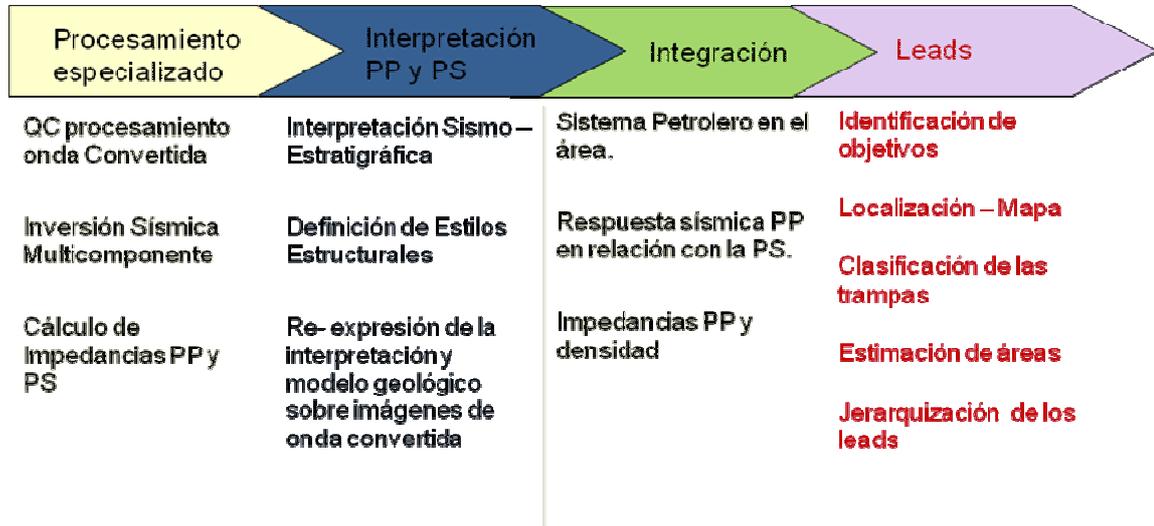


Figura 1. Actividades realizadas para el programa ANH Línea Regional Trasandina 4A.

5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El programa ANH Línea Regional Trasandina 4A se encuentra ubicado en geográficamente entre los departamentos Córdoba – Antioquia y Bolívar – Santander, separado en dos secciones con los nombres de los departamentos. La Sección Córdoba-Antioquia y la Sección Bolívar-Santander son partes de una misma línea ANH-TR-2006-04A, con dirección NW-SE.

Este programa atraviesa las cuencas asociadas al Cinturón Plegado del Sinú (CS) y Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ), la Sub Cuenca de San Jorge (Valle Inferior de Magdalena), la Serranía de San Lucas, la Cuenca del Valle Medio de Magdalena y el pie de monte de la Cordillera Oriental, como se muestra en la Figura 1.

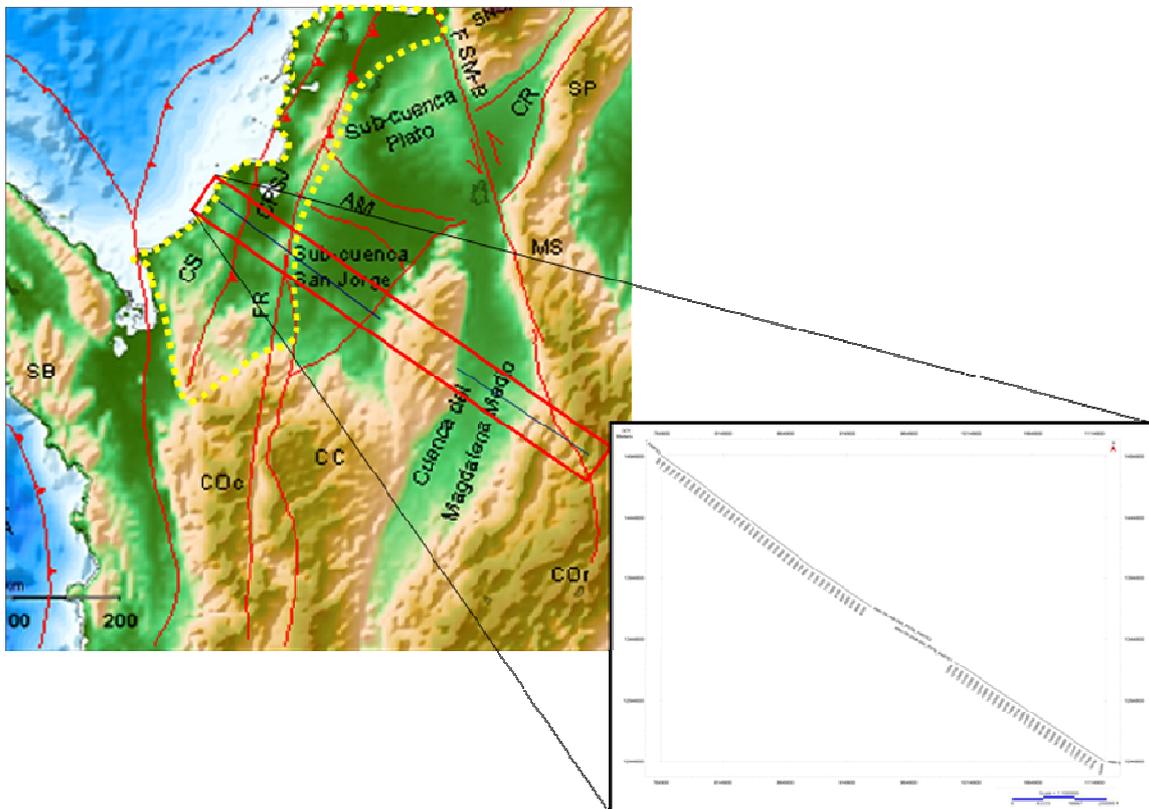


Figura 2. Ubicación geográfica del programa ANH Línea Regional Trasandina 4A. La línea atraviesa las cuencas asociadas al Cinturón Plegado del Sinú (CS) y Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ), la Sub Cuenca de San Jorge (Valle Inferior de Magdalena), la Serranía de San Lucas, la Cuenca del Valle Medio de Magdalena y el pie de monte de la Cordillera Oriental. Tomado de Suárez (2009).

6. GEOLOGÍA REGIONAL

6.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

El programa sísmico ANH Línea Regional Trasandina 4A (ANH-TR-2006-04A), está comprendido por dos (2) secciones. Una sección hacia el oeste, Córdoba-Antioquia, la cual abarca los cinturones plegados de Sinú, San Jacinto y el Valle Inferior de Magdalena (sub-cuenca de San Jorge) y la segunda sección más hacia el este, que involucra la Cordillera de San Lucas, Valle Medio de Magdalena y pie de monte de la Cordillera Oriental.

Este programa está enmarcado en el contexto tectónico del borde de placas Caribe-Suramérica (Figura 3). El margen continental del Caribe Colombiano forma parte del frente de deformación originado por la subducción en sentido oeste-este de la placa Caribe bajo la placa Suramericana, proceso que se presenta desde el Cretácico Tardío. Este proceso compresivo ha determinado en gran parte los patrones estratigráficos y estructurales en las provincias geológicas del norte de Colombia, y ha traído como consecuencia un régimen tectónico transpresivo, que ha involucrado obducción y acreción a lo largo del tiempo geológico.

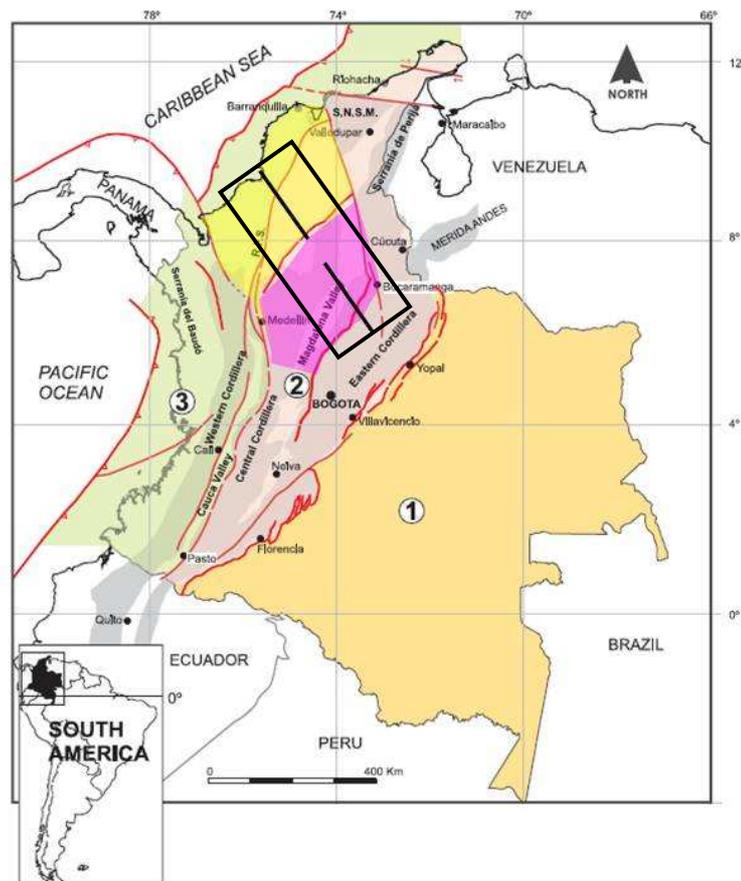


Figura 3. Ubicación de las cuencas interceptadas por el programa sísmico ANH-TR-2006-04A. En amarillo sección Córdoba-Antioquia y en fucsia sección Bolívar-Santander (ANH-2007).

6.2 MARCO TECTONO-SEDIMENTARIO

Contexto Geológico Córdoba-Antioquia:

El Cinturón Plegado del Sinú-San Jacinto ha sido definido por Flinch (2003) como un prisma de acreción clásico, donde su parte interna corresponde a la parte más antigua: Cinturón Plegado de San Jacinto, y su parte externa a la parte más joven, Cinturón del Sinú. El basamento del prisma de acreción consiste en gabros cretácicos, basaltos y lavas almohadilladas, intrusionadas por monzodioritas, monzonitas, sienitas y gabros.

Según Duque-Caro (1984) para el Cretácico existían dos (2) dominios geológicos completamente diferentes, el primero es una zona emergida, corteza continental, como continuación de la Cordillera Central, con presencia de rocas volcánoclasticas con metamorfismo de bajo grado, cuyo límite ha sido colocado en la actual zona de sutura del sistema de fallas de Romeral; y otro, al oeste del mencionado sistema de fallas, con rocas fundamentalmente oceánicas como lo son serpentinitas y basaltos, previo a la depositación de sedimentos finos característicos de los cinturones plegados actuales (Jiménez, 2008).

Posterior a esta etapa, la sedimentación se ve fuertemente controlada por el proceso transpresivo que ocurre en la zona, a causa de la migración al este de la placa Caribe y el emplazamiento del arco de Panamá. Este episodio limitó la depositación de unidades en el dominio continental, generando episodios de cuñas acrecionarias conocidas como sistema acrecionario Sinú-San Jacinto, el cual puede diferenciarse en: Cinturón Plegado de Sinú (CPS) y Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ).

6.2.1 Geología del Cinturón Plegado de Sinú

El Cinturón Plegado de Sinú (CPS) está caracterizado por un conjunto de sedimentos marinos y fosilíferos superpuestos de gran espesor, predominando sucesiones del Oligoceno y Mioceno. El rasgo más representativo de esta parte de la cuenca es el diapirismo y vulcanismo de lodo, y el desarrollo de los sinclinales, caracterizando cuencas longitudinales de hundimiento (Hernández, 2009). Este cinturón ha sido sometido a varios eventos de deformación, tanto extensivos como de compresión simultánea en régimen de convergencia oblicua, producto del choque de placa entre Caribe y Suramérica (Caro y Rey, 2009). A diferencia del Cinturón de San Jacinto, este prisma es catalogado como tal en el Mioceno, hecho atribuido al cierre del arco de Panamá.

Los diferentes eventos tectonoestratigráficos del CPS se pueden resumir dentro de la fase de margen activo del oeste de Suramérica, asociado a una serie de pulsos durante la deformación.

- **Eoceno medio:** Caro y Rey (2009) hacen referencia a una deformación incipiente en el cinturón, con deformación local previa en la base de los sinclinales. Los esfuerzos compresivos aumentan producto del avance del Caribe, generando un margen transformante y conformaron la Fosa del Sinú como nueva zona de subducción.

- **Oligoceno – Mioceno temprano:** Basculamiento de los estratos y levantamiento de la cuenca hacia el oeste del Cinturón de San Jacinto, como consecuencia de los continuos esfuerzos ocurridos en la Fosa del Sinú (Hernández y Jaramillo, 2009).

- **Mioceno medio:** Fuerte evento compresivo causante de la inversión de las estructuras existentes en el área, produciendo erosión y depositación, seguido por sedimentación turbidítica (Flinch, 2003), cerrando el ciclo con el levantamiento de la Serranía de Sinú debido al cierre de Panamá.

- **Plioceno tardío – Pleistoceno:** Fuerte evento transpresivo llevando a la cuenca a su configuración actual, produce fallamiento rumbo-deslizante, estructuras de flor positivas, rotación de sinclinales y

diapirismo de lodo emplazado a través de las fallas con componente rumbo-dextral deformando algunos anticlinales (Caro y Rey, 2009).

- **Pleistoceno – Holoceno:** El Cinturón de Sinú continúa emergiendo debido a la compresión lateral y a las altas presiones almacenadas en éste, por lo que el vulcanismo de lodo es aun activo en esta etapa (Hernández, 2009).

6.2.2 Geología del Cinturón Plegado de San Jacinto

El Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) está caracterizado por una sucesión de estratos altamente tectonizados y fallados por esfuerzos transpresivos, cuya actividad de formación comienza a finales del Cretácico Superior, debido al choque de las placas Caribe y Suramericana, a lo largo de la sutura de Romeral, levantando el borde continental ya emergido y produciendo deformación y metamorfismo en la zona.

En este sentido, los diferentes eventos tectonoestratigráficos del CPSJ se pueden resumir en dos (2) fases, la primera correspondiente al margen pasivo y la segunda fase al margen activo, asociado a una serie de pulsos durante la deformación.

La evolución geológica del CPSJ se puede resumir en cinco (5) eventos:

Fase 1: Margen Pasivo (Cretácico temprano-Cretácico tardío).

Inicio del Margen Pasivo a partir del Cretácico Temprano hasta Cretácico tardío (Maastrichtiense). Durante el Albiense cesa el fallamiento normal asociado a la fase de apertura e inicia la sedimentación marina que se extiende a los márgenes norte y oeste de Suramérica, alcanzando su máxima extensión en el Cenomaniense al Santoniense (Covey y Dengo, 1993; Drake y Pindell, 1988).

Fase 2: Margen Activo (Maastrichtiense – Eoceno temprano).

A esta fase se le pueden asociar diferentes eventos de deformación debido a la colisión oblicua de las placas antes mencionadas:

2.1 Cretácico Tardío – Paleoceno: Diversos investigadores del área sugieren actividad diapírica que da paso a la deformación y emergencia del cinturón. Una transgresión en el área es la causante de sedimentación de rocas pelágicas marino profundo (Fm. Cansona) y batial (Fm. San Cayetano), que suprayacen al fundamento oceánico existente.

2.2 Eoceno medio – Oligoceno: Esfuerzos compresivos aumentan producto del avance del Caribe, generando un margen transformante y formando la Fosa del Sinú como nueva zona de subducción. Comienza la orogénesis pre-Andina, causante del primer levantamiento de mayor relevancia en el Cinturón de San Jacinto. La zona positiva al este de Romeral sirve de fuente a la sedimentación siliciclástica, depositando *cherts*, margas y lodolitas (Hernández, 2009).

2.3 Oligoceno - Mioceno temprano: Un evento diapírico causa el remodelado del relieve y la culminación de la inconformidad del Oligoceno temprano. Sucesión de eventos erosivos, basculamiento de estratos y levantamiento de la cuenca hacia el Oeste del Cinturón, como consecuencia de los continuos esfuerzos ocurridos en la Fosa del Sinú. Este hecho produce el aumento del ángulo de la falla Romeral por acreción de la cuenca oceánica, y da origen a cabalgamientos transpresivos, levantando las serranías de Sinú y San Jacinto en el Mioceno medio (Hernández y Jaramillo, 2009).

2.4 Mioceno tardío – Plioceno: Inestabilidad tectónica relacionada a la separación de Sierra Nevada de Santa Marta, dando paso a un lapso totalmente emergente, con inversión de las principales estructuras y *half-grabens* seguido de sedimentación turbidítica con aporte terrígeno (Flinch, 2003; Hernández, 2009).

2.5 Pleistoceno – Holoceno: El área es controlada por la Orogenia Andina, que marca una etapa de plegamiento y fallamiento, con intrusiones de lodo que deforman el cinturón plegado y en algunas zonas, la exposición de la cubierta sedimentaria de la plataforma.

6.2.3 Geología del Valle Inferior de Magdalena

El Valle Inferior de Magdalena está definido como zona positiva previo al Cretácico Tardío (corteza continental), cuya actividad tectónica inicia con el choque de la placa Caribe y la Suramericana. Actualmente se divide en dos (2) depocentros principales conocidos como: Subcuenca de Plató, al norte, y la Subcuenca de San Jorge, al sur, divididos por un alto de basamento llamado Arco de Magangué o Arco de Cicuco de orientación noroeste-sureste.

Los eventos tectonoestratigráficos del VIM se pueden resumir dentro de la siguiente serie de pulsos durante la deformación:

- **Coniaciense – Paleoceno:** Deformación asociada a la colisión oblicua del arco continente, propagándose de sur a norte, desarrollando el sistema de fallas de Romeral que separa los dominios continental y oceánico, acreción de corteza oceánica al oeste de la sutura. Sedimentación de aguas profundas al oeste del límite, dejando sin depósitos al VIM.

- **Eoceno – Oligoceno:** Se activa la cuenca VIM. Acreción del Cinturón Plegado de San Jacinto. Colapsa una región de la Cordillera Central de la Cuenca de Plato-San Jorge. Depositación mayormente turbidítica.

- **Mioceno:** Cuenas *piggyback* que se rellenan con sedimentos de evento regresivo. Al este de Romeral una compresión N-S que involucra basamento se desarrolló con inversión de estructuras existentes (Flinch, 2003). La colisión del arco de Panamá es la causante de la deformación de la Cordillera Central.

- **Plioceno:** Depocentros migran costa afuera desde el Mioceno. Inversión de cuencas Plato-San Jorge registran el pulso final de la Orogenia Andina. La fuerte regresión es la principal responsable de los cambios rápidos de *facies* marino, costero y continental.

6.2.4 Geología del Valle Medio de Magdalena

Contexto Geológico Bolívar-Santander:

La cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) está localizada en la parte central de Colombia entre las cordilleras Central y Oriental, y cubre un área aproximada de 32.100 km².

Marco Geológico Regional

Durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano se establece una fase extensional de tectónica de bloques con desarrollo de *grabens*, en respuesta al proceso de *rifting* que se generó durante la etapa de separación del margen noroccidental de Suramérica respecto a Norteamérica. El proceso de *rifting* dio lugar a la apertura de un gran aulacógeno orientado en sentido NO – SE, que propició el ingreso del mar Cretácico (Etayo et al., 1969). Durante la fase de sedimentación *sinrift* el sistema de *grabens* es

rellenado por depósitos clásticos de carácter fluvial. Posteriormente, a partir del Berriasiano-Valanginiano, se depositan sedimentos marinos someros en dos (2) cuencas de *rift* separadas por el alto del paleo-macizo de Floresta-Santander (Addison et al., 1995; Etayo et al., 1969; Fabre, 1985). La tasa de subsidencia en estas dos (2) cuencas fue relativamente alta, especialmente en el lapso Valanginiano-Hauteriviano. A partir del Aptiano cesa la subsidencia y las dos (2) cuencas se unen en una (1) sola, en la cual se depositan sedimentos de plataforma media a externa, siendo alcanzada la máxima profundización de esta fase en el Albiano medio.

La sedimentación *post-rift* comienza a partir del Turoniano-Coniaciano y se mantiene hasta fines del Cretácico, cuando comienza una fase de tectónica compresiva en respuesta al inicio de la acreción de la Cordillera Occidental. Esto ocasiona un cambio en la sedimentación que durante el Paleoceno temprano pasa a desarrollarse en ambientes de pantanos y llanuras deltaicas.

Desde el Paleoceno tardío hasta el Oligoceno la sedimentación estuvo controlada por los pulsos de levantamiento de la Cordillera Central, dando lugar a acumulaciones en ambientes de depósito de carácter fluvial y permitiendo el desarrollo de *facies* clásticas arenosas en el costado occidental de la cuenca (Buchelli et al., 2000). Desde el Oligoceno medio hasta el presente tiene lugar el levantamiento de la Cordillera Oriental, en diferentes pulsos, lo cual se ve reflejado en la migración de *facies* de arenosas hacia el oriente de la cuenca (Suárez, 1996).

Geología Estructural

Los estilos estructurales que caracterizan al Valle Medio del Magdalena pueden agruparse en tres (3) zonas diferenciadas: a) La zona oriental, caracterizada por la presencia de estructuras con tendencia NE-SO, representadas predominantemente por sistemas de cabalgamientos con vergencia principal hacia el Occidente, en profundidad se presentan estructuras de tipo *duplex* y en menor cantidad, estructuras de inversión heredadas de fallas jurásicas y cretácicas, b) La zona occidental que presenta fallas inversas y cabalgamientos con vergencia principal hacia el Oriente con una fuerte componente transpresiva, y c) La zona central poco deformada, con algunas fallas normales fosilizadas (Buchelli et al., 2000).

Geología del Petróleo

Roca Generadora

De acuerdo con análisis realizados, se han identificado dos (2) intervalos generadores importantes para el Valle Medio del Magdalena, localizados dentro de la secuencia cretácica, éstos son: La Formación La Luna y el Grupo Calcáreo Basal. El kerógeno asociado a estas rocas es de tipo II y las mismas han estado en ventana de generación y expulsión desde el Mioceno hasta el presente (Buchelli et al., 2000).

Roca Almacenadora

Hasta hoy, el 99,9% de las reservas descubiertas se encuentran en rocas terciarias. No obstante, los campos Buturama (1953), Totumal (1959) y recientemente los pozos Olivo-1 y Catalina-1 (1998), han mostrado producción de hidrocarburos en rocas calcáreas cretácicas. Asociadas a la secuencia terciaria han sido probadas como rocas almacenadoras las formaciones Colorado, Mugrosa, Esmeraldas y La Paz. En la secuencia cretácica han sido probadas las formaciones La Luna y Rosablanca (Buchelli et al., 2000).

En la actualidad se tienen como unidades potenciales para futuros prospectos, las calizas del Grupo Calcáreo Basal del Valanginiano - Barremiano y, en menor proporción, los niveles siliciclásticos de la Formación Los Santos del Berriasiano (Buchelli et al., 2000).

Roca Sello

Son rocas sellos los niveles arcillosos intra-formacionales de las unidades terciarias y las unidades arcillosas del Cretácico, siendo éstas últimas las más efectivas dado su espesor y extensión regional (Buchelli et al., 2000).

Trampas

La mayoría de trampas probadas son de carácter estructural, dentro de las cuales se presentan los siguientes estilos (Buchelli et al., 2000):

- Anticlinal asociado a bloques transpresionales formados durante la tectónica pre-andina (campo Buturama).
- Pliegue asociado al sistema de fallas de rumbo de la Cordillera Central (campo Yariguí – Cantagallo).
- Anticlinal asociado a reactivación de fallas ancestrales en la plataforma durante la tectónica andina (campos Llanito y Casabe).
- Anticlinal asociado a cabalgamiento de la tectónica andina (campo La Cira – Infantas).
- Anticlinal asociado a cabalgamiento de la tectónica andina en el sector del Piedemonte occidental de la Cordillera Oriental (campos Provincia-Payoa, Bonanza, Lisama, Peroles, San Luis, Pulí y El Segundo).
- Monoclinal fallado (campos Palagua – Velásquez, Cocorná – Teca y Baúl).

En cuanto a trampas estratigráficas se tienen (Buchelli et al., 2000):

- Canales fluviales sellados por lodolitas de llanura de inundación pertenecientes al Grupo Honda en el sur de la cuenca, unidad equivalente facial y temporalmente al Grupo Real (campos Toqui – Toqui y Totare).
- Canal distributivo sellado por lodolitas de llanura deltaica perteneciente a la Fm. Lisama (campo Lebrija).

Por probar están los siguientes tipos de trampas (Buchelli et al., 2000):

- Bloques transpresionales formados en el Paleoceno tardío.
- Cabalgamientos del Mioceno medio en el Piedemonte occidental de la Cordillera Oriental.
- Bloques extensionales del Jurásico y Cretácico.
- Acuñaientos terciarios contra el paleo-alto de Cáchira.
- *Onlap* a la base del Eoceno sobre la discordancia más inferior del terciario.
- Truncación al tope del Eoceno.
- Truncación erosiva del Cretácico y del Paleoceno contra la discordancia del Eoceno, incluyendo componente estructural.
- Terminación deposicional del Terciario basal contra la discordancia del Eoceno, incluyendo componente estructural.

6.3 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

6.3.1 Sistema Petrolero del Cinturón del Sinú

El Cinturón Plegado de Sinú en cuanto al sistema petrolero se comporta de manera similar al Cinturón de San Jacinto, al poseer como roca madre a la Fm. Cansona con kerógenos tipo I y II aptos para la generación de petróleo y gas con valores de %COT entre 2-11% con una media de 5,6% (ANH, 2006b).

Otras posibles rocas generadoras postuladas son aquellas de edad Oligoceno temprano a Mioceno temprano con kerógenos tipo II y III y valores de %COT que oscilan entre 1 y 7%, hecho que Díaz et al., 2009, colocan en evidencia al mencionar que los campos de gas Floresanto y Jaraguay indican diferencias entre la roca fuente, migración, maduración, entre otros factores.

Caro y Rey (2009) mencionan que la Fm. Cansona no se ha presentado como roca madre en el área del Sinú, viendo la necesidad de apoyarse en rocas neógenas como la Fm. Maralú. En relación a la roca yacimiento colocan a los niveles arenosos de las formaciones Pavo, Floresanto, Pajuil y Manantial.

Geoandes en el año 2000, para la Cuenca de Sinú, muestra niveles factibles de yacimiento correspondientes a arenas del Paleoceno y Oligoceno (Fm. San Cayetano, El Floral y Ciénaga de Oro) por datos de porosidad, aunque poseen baja permeabilidad (ANH, 2006a).

Las trampas y sellos corresponden a pliegues de etapas tempranas de formación de diapiros que no rompen completamente las secuencias y son lateralmente extensos, truncamientos de estratos contra los diapiros, truncamientos por discordancias sindeposicionales y otros cambios laterales de facies. Caro y Rey (2009) mencionan como posible sello a estratos de la Fm. Maralú y Fm. Floresanto.

6.3.2 Sistema Petrolero del Cinturón de San Jacinto

El Cinturón Plegado de San Jacinto en cuanto al sistema petrolero es dividido en dos (2) bloques, el bloque norte o Bloque Luruaco representado por el anticlinorio del mismo nombre y el Bloque San Jacinto al sur (Figura 4). En relación al segundo, su correspondiente anticlinorio es altamente tectonizado, imposibilitando el hallazgo de una sección estratigráfica bien representativa y limitando también la exploración del subsuelo. En sectores del centro de este anticlinorio, afloran estratos de sedimentación marina correspondiente al Cretácico tardío (Fm. Cansona), considerado la mayor sucesión de estratos con potencial de generación de hidrocarburos en el cinturón. Por otro lado, el anticlinorio Luruaco es una sección estratigráfica más reciente, con grandes estructuras de deformación. Los estratos que afloran en la parte central son sucesiones de arenas monótonas y arcillositas, discordantes con la Fm. Arroyo (ANH, 2006b).

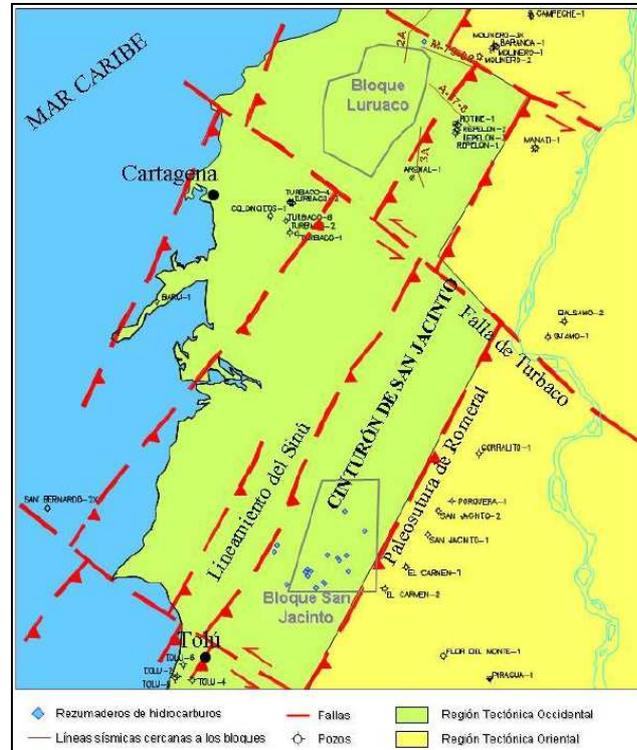


Figura 4. Ubicación de los diferentes bloques del Cinturón Plegado de San Jacinto.

Este anticlinorio presenta cantidades importantes de resumaderos relacionados a depósitos continentales del Mioceno. Los análisis geoquímicos en el cinturón establecen contenido de kerógeno tipo I y II, aptos para generar petróleo y gas, con valores de %COT entre 2-11% y una media de 5,6% (ANH, 2006b).

En informes de la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, se proponen como rocas reservorio los *cherts* fracturados y areniscas del Paleoceno y Eoceno correspondientes a la parte superior de la Formación Cansona y a la Formación San Cayetano, sobre la cual se han obtenido porosidades entre 3 y 24%. Hacia la parte norte del cinturón, las rocas reservorio corresponden más a unidades Neógenas como lo son las formaciones: Pajuil, Floresanto, Pavo, San Jacinto Ciénaga de Oro, El Carmen, Porquera, Mucacal, Maco y La Risa (ANH, 2006a y 2006b).

Por otro lado, las trampas corresponden a los pliegues por fallamiento inverso, por intrusiones de diapiros, trampas estratigráficas por cambios laterales de facies, discordancias sindepositacionales, truncamientos de reservorios por rellenos de valles incisos, anticlinales, altos de paleobasamento, entre otros. Las lodolitas silíceas de la Fm. San Cayetano pueden actuar como roca sello en las intercalaciones clásticas del área, así como las formaciones Maralú, Changué y Carmen.

El mayor riesgo para el sistema petrolero en el área corresponde a la sincronización, debido a los diversos pulsos de deformación que pudieron destruir las estructuras formadas y reemigrar el hidrocarburo previo al Plioceno.

6.3.3 Sistema Petrolero del Valle Inferior de Magdalena

El sistema petrolero del VIM es completamente diferente a aquéllos desarrollados en las provincias de Sinú y San Jacinto.

La roca madre por excelencia en la zona son las lutitas fluviales de la Formación Ciénaga de Oro, con puntos aún activos y en fase de generación/migración presentes en la subcuenca Plato, registrado entre los pozos Guamito-1 al Noreste y Pijiño-1 al Sur, formación con unidades arenosas, cuyas características le permiten servir a su vez de yacimiento, por presentar una secuencia espesa. El sello local lo representan las intercalaciones de lutitas fluviales-transicionales de la Ciénaga de Oro, la cual es a su vez infrayace a la secuencia de lutitas de Porquero Inferior.

Las trampas en el área las conforman los pliegues compresivos relacionados al sistema de fallas de Romeral y los truncamientos por falla. La migración ocurre por la red de fracturas y planos de falla.

7. CALIDAD DEL DATO SÍSMICO

Las secciones fueron procesadas por Petroseis Ltda. Estas líneas abarcan una distancia de aproximadamente 437 km. La sección Córdoba-Antioquia tiene 214 km y la sección Bolívar-Santander 223 km.

Existen eventos comunes a ambas secciones. Estos eventos se presentan con mayor definición en las secciones de onda P. Sin embargo, aparecen también en las secciones PS con un contenido de frecuencia menor. La Figura 5 muestra el contenido de frecuencia de ambas secciones (onda compresiva y convertida); en ésta es evidente el mayor ancho de banda de la onda compresiva, además de un contenido de energía menos variable para las frecuencias dentro del ancho de banda.

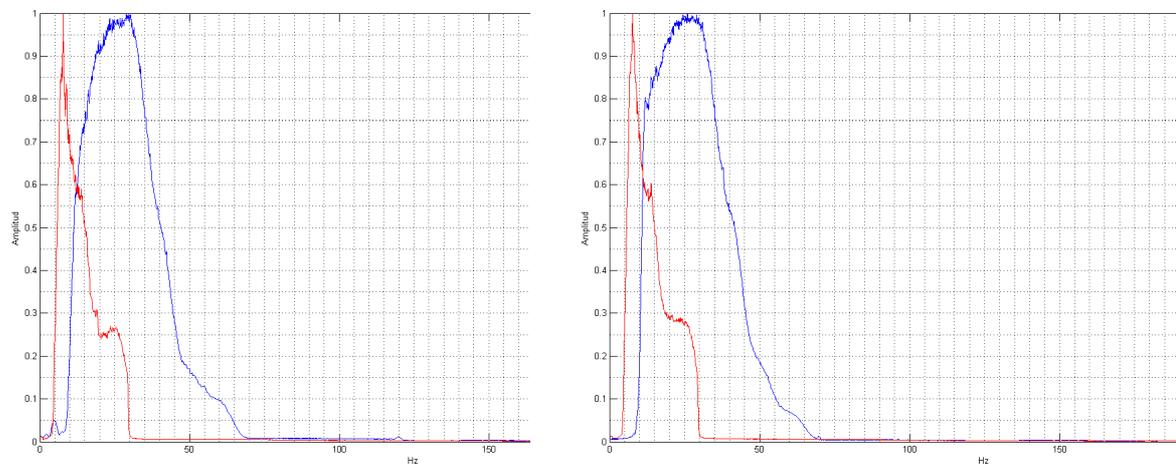


Figura 5. Espectros de amplitud de las secciones sísmicas. En azul se muestra el espectro de amplitud de la onda compresiva y en rojo el de la onda convertida para la sección correspondiente. Derecha: sección Bolívar-Santander. Izquierda: sección Córdoba-Antioquia.

La calidad de la onda PS varía dentro de las secciones y en varios casos permite complementar la información estructural y estratigráfica observada en la sección de onda compresiva. Se identifican discordancias, terminaciones estratigráficas, pliegues y fallamiento. Por debajo de los 7 segundos la relación S/R empeora para la onda compresiva, mientras que para la onda convertida la disminución importante de resolución se encuentra alrededor de los 10 segundos.

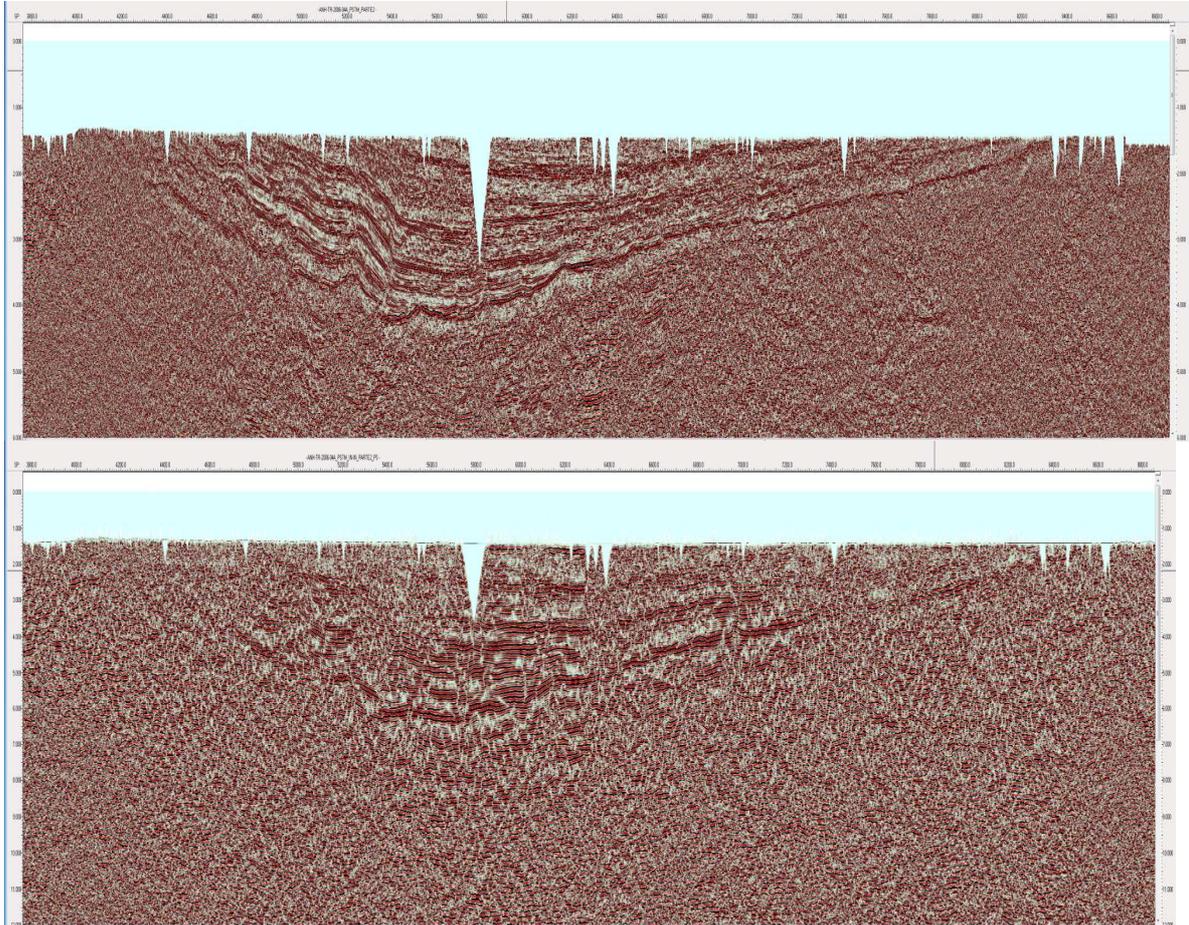


Figura 6. Reflectores sísmicos de onda P (arriba) y onda convertida (abajo) para la sección Bolívar-Santander de la línea Transandina.

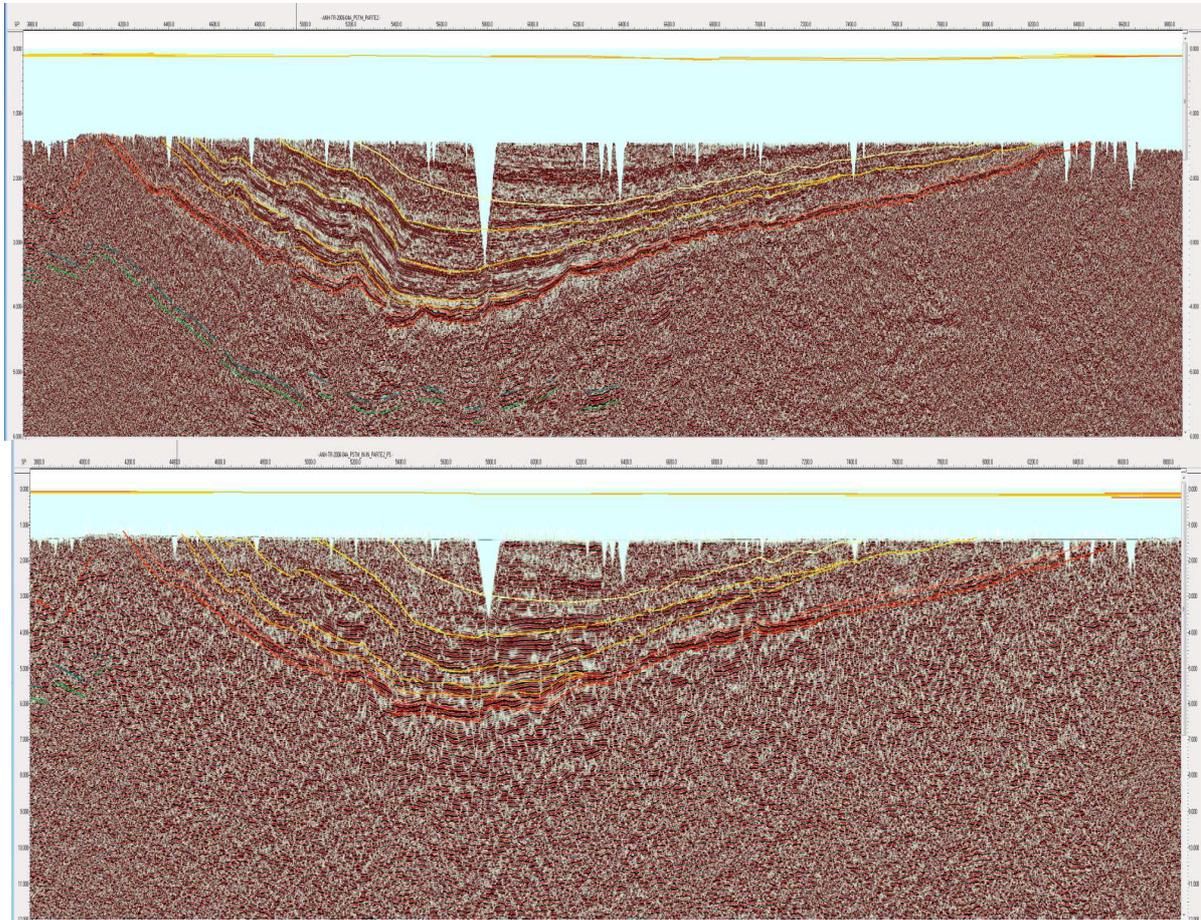


Figura 7. Reflectores sísmicos de onda P (arriba) y onda convertida (abajo) para un segmento de la sección Bolívar-Santander de la línea Transandina con la interpretación de los horizontes más relevantes.

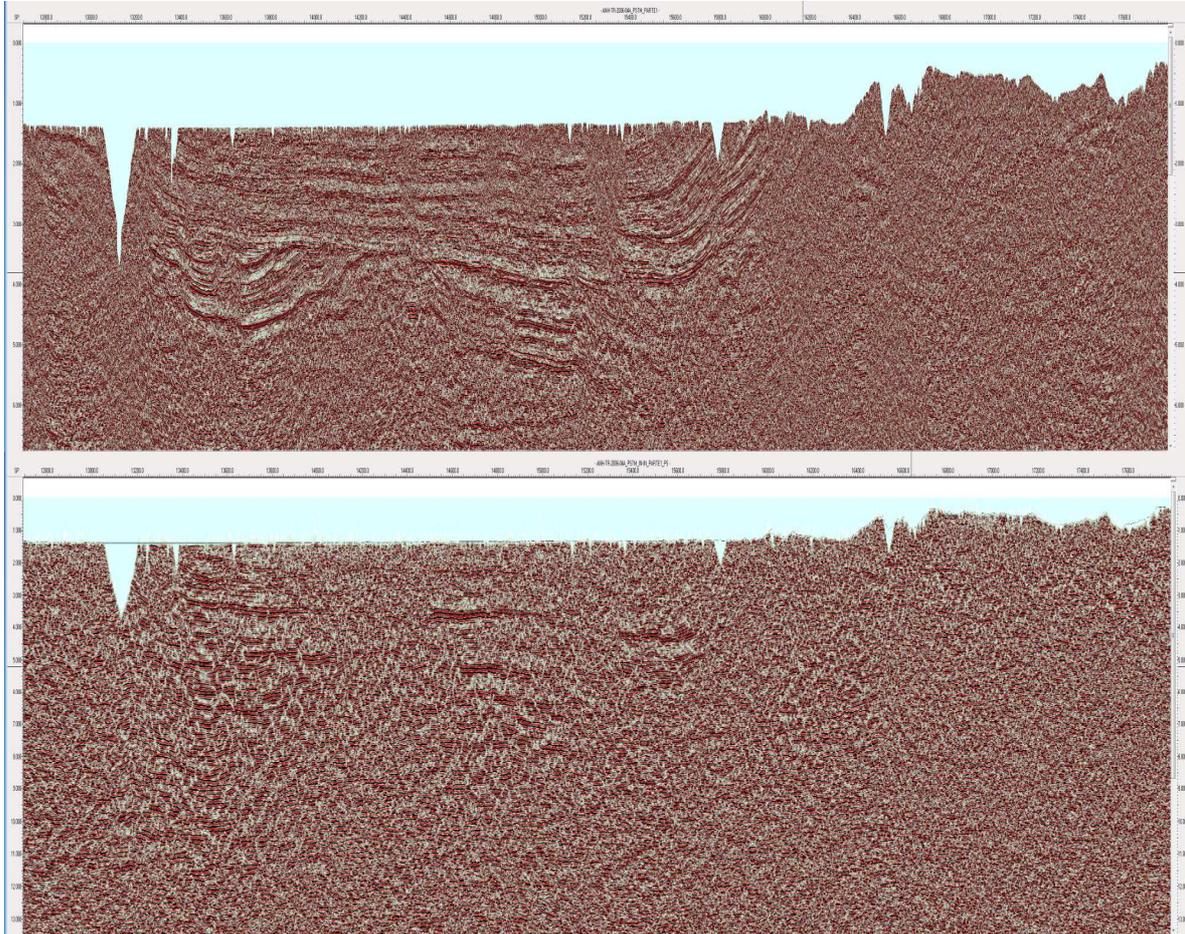


Figura 8. Reflectores sísmicos de onda P (arriba) y onda convertida (abajo) para un segmento de la sección Córdoba-Antioquia de la línea Transandina.

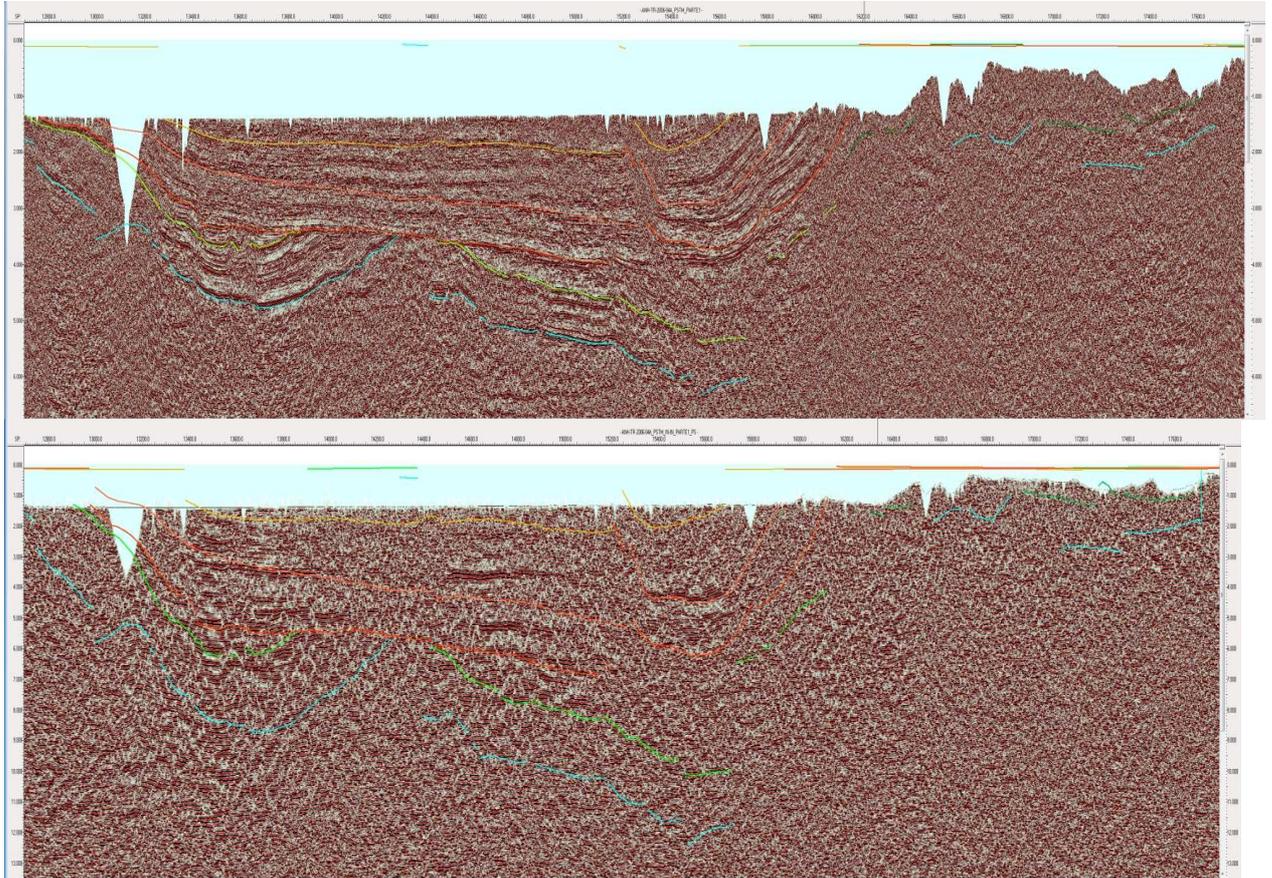


Figura 9. Reflectores sísmicos de onda P (arriba) y onda convertida (abajo) para un segmento de la sección Bolívar-Santander de la línea Transandina con la interpretación de los horizontes más relevantes.

8. INTERPRETACIÓN

8.1 ANTECEDENTES

La campaña sísmica 2D realizada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH- denominada “Línea sísmica Trasandina”, atraviesa los cinturones plegados de Sinú y San Jacinto, el Valle Inferior de Magdalena y el Valle Medio de Magdalena. Según informes de la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, previo a esta campaña se realizaron diferentes estudios sedimentológicos y perforación de pozos en el área. Además, Geosearch LTDA realizó en paralelo a la adquisición sísmica, una recolección y análisis de afloramientos de edad Cretácico y Cenozoico, con el cual se pudo cartografiar las arenas de edad Paleoceno y Oligoceno de las formaciones Ciénaga de Oro, San Cayetano y Floresanto (Jiménez, 2008).

Este mismo autor presenta en su estudio un modelo sísmico estructural, en el cual destaca que la sísmica está dividida en dos (2) sectores, la primera desde la superficie hasta 11 segundos, en la que se observan claramente la cuenca de Sinú y el Valle Inferior de Magdalena, y la otra que va desde 11 a 20 segundos, en la cual la relación señal ruido no permite una clara interpretación. En este modelo se presenta al Valle Inferior de Magdalena como un anticlinal asimétrico, donde la secuencia sedimentaria presenta control sintectónico, con presencia de fallas en flor. Asimismo este investigador expone que al oriente de la falla Romeral se presenta una sedimentación desde el Oligoceno hasta el Plioceno, que descansa sobre un basamento continental (Figura 10).

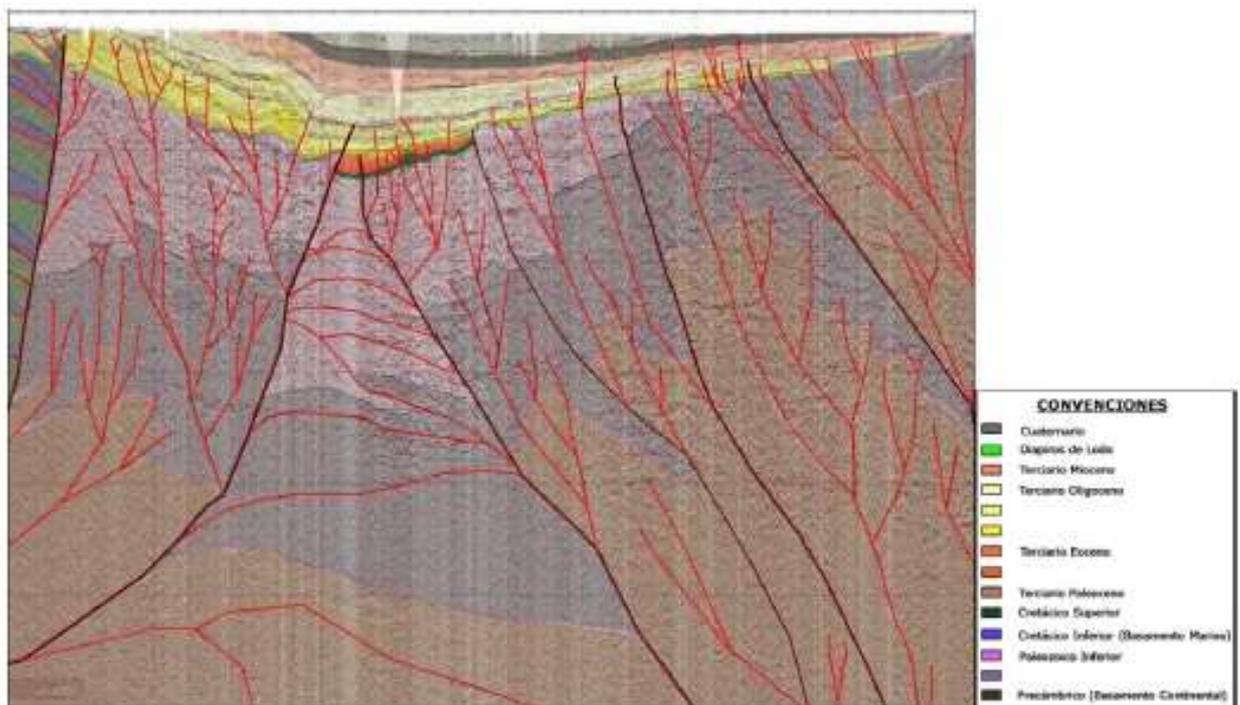


Figura 10. Modelo sísmico estructural presentado por Jiménez. En su estudio, se pueden observar las fallas en flor, además de la estratigrafía interpretada. Tomado de Jiménez, 2008.

Informes presentados por la ANH proponen que para el área de estudio, las rocas generadoras se encuentran en las Formaciones Cansona y Ciénaga de Oro, mientras que las rocas yacimientos se encuentran en los intervalos arenosos de las formaciones Ciénaga de Oro, El Cerrito y Sincelejo (Figura 11). En cuanto a las trampas para el área del valle inferior se proponen los pliegues compresivos, altos en el basamento y truncamientos, mientras que para el área de Sinú y San Jacinto se proponen los cabalgamientos y los truncamientos contra diapiros.

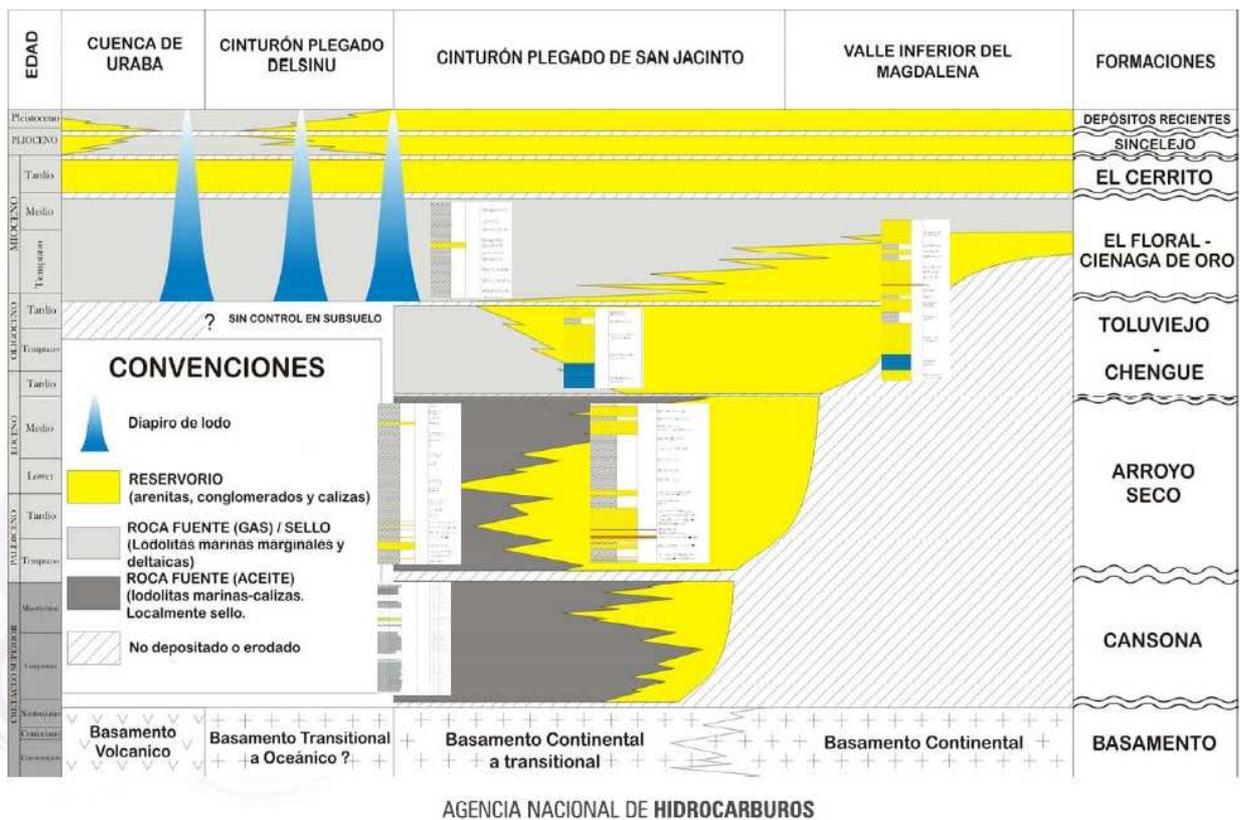


Figura 11. Columna estratigráfica en el cual se muestran los intervalos de roca generadora y roca yacimiento para el área de estudio. Tomado de Díaz et al. 2009.

Díaz et al., 2009, muestran una interpretación estructural del área de estudio, destacando que la cuenca de Sinú presenta un estilo estructural dominado por diapiros, los cuales deforman las secuencias Plioceno – Pleistoceno en sinclinales simétricos, además las fallas inversas presentan una componente rumbo dextral, a través de las cuales se emplazaron los diapiros, mientras que en la cuenca San Jacinto se presenta un prisma acrecionario muy deformado, debido a la convergencia de la Placa Caribe a lo largo de la Falla Romeral.

Estos autores interpretan que para el área del Valle Inferior de Magdalena, el registro del Cretácico y Paleoceno fue erosionado por la discordancia del Eoceno. Estas secuencias solo se presentan en la cuenca de San Jorge, en la cual existe una cuenca asimétrica debido a los esfuerzos transpresivos. Para el área del Valle Medio de Magdalena, se interpretan fallas verticales con una componente dextral hacia el oeste y hacia el este cabalgamientos con vergencia hacia el oeste (Figura 12).

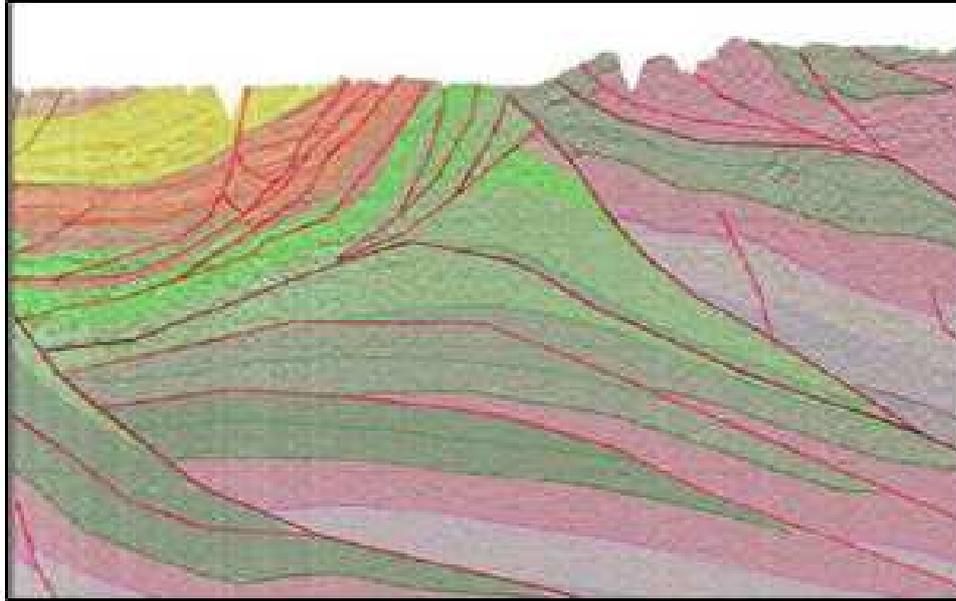


Figura 12. Interpretación sísmica del área del Valle Medio de Magdalena. Tomado de Díaz et al, 2009.

En cuanto a la prospectividad de los hidrocarburos, los autores proponen que para el área de la Cuenca de San Jorge, la roca madre se encuentra en las formaciones Ciénaga de Oro y Porquero, mientras que las trampas están ubicadas en los acuíferos contra el basamento y los crecimientos calcáreos del Oligoceno y Mioceno inferior. Además proponen que la presencia de rocas de edad Cretácico en las partes profundas de la cuenca, abre la posibilidad de encontrar hidrocarburos líquidos en formaciones de esta edad.

8.2 BASES DE DATOS

8.2.1 Columnas Estratigráficas

Sección Córdoba-Antioquia:

La estratigrafía del CPS y CPSJ y VIM se resume en la siguiente columna generalizada (Figura 13), en la cual se muestra la relevancia hidrocarburífera de las calizas de la Formación Cansona, las arenas de Ciénaga de Oro (CDO) y San Cayetano de edad Cretácico Superior, Eoceno superior y Paleoceno superior, respectivamente.

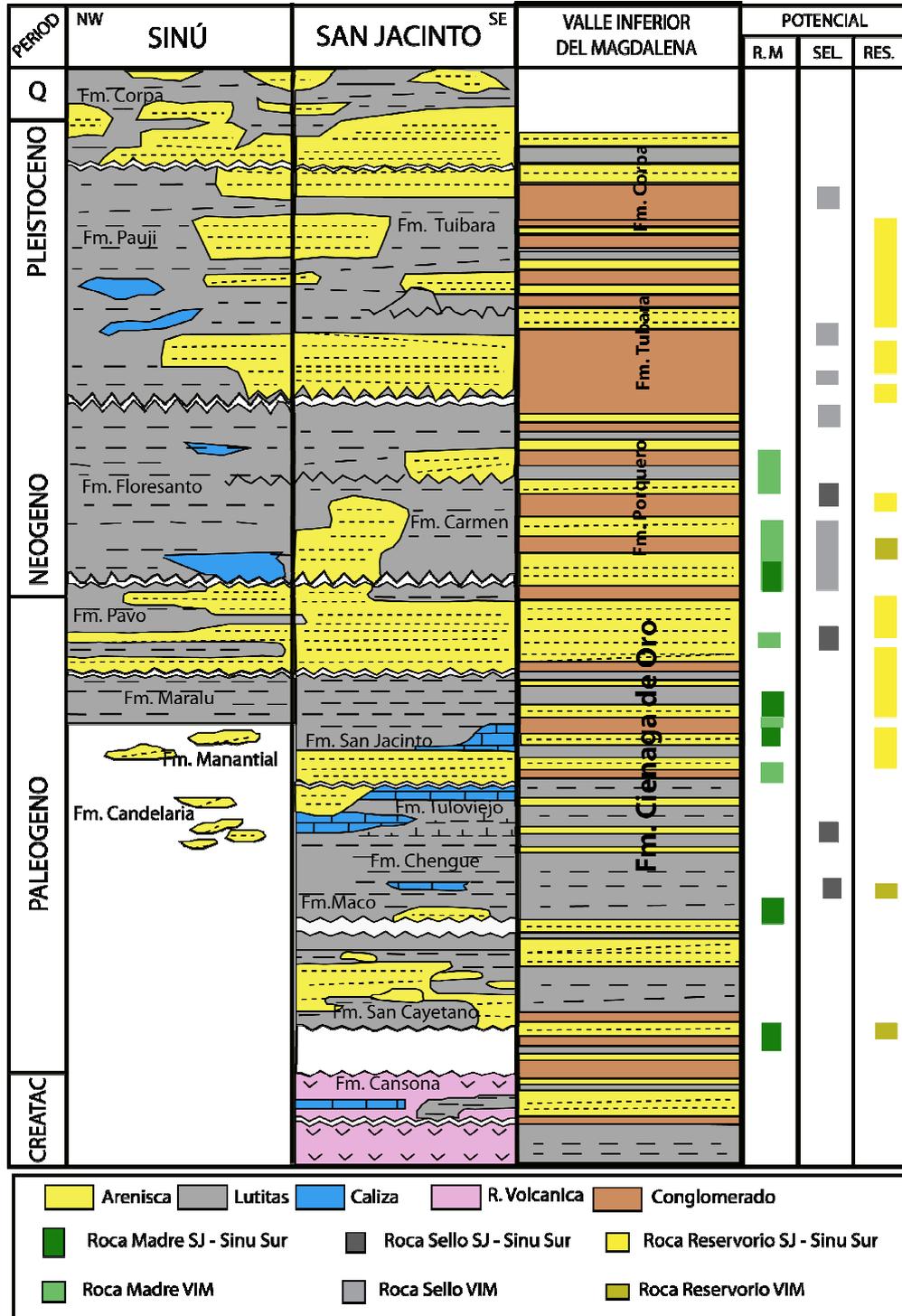


Figura 13. Columna estratigráfica generalizada para la Sección Córdoba-Antioquia, Sinú-San Jacinto y el VIM.

Sección Bolívar-Santander:

Como consecuencia de los eventos geológicos antes mencionados, la secuencia sedimentaria del área del Valle Medio del Magdalena, consta de rocas que en edad varían desde el Paleozoico Superior hasta el presente. En general se pueden separar cuatro intervalos principales (Buchelli et al., 2000):

- Sedimentitas jurásicas y cretácicas basales (Berriasiano) de origen fluvial (Fms. Jordán, Girón, Tambor y Los Santos).
- Sedimentitas cretácicas (formaciones Cumbre, Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, Areniscas de Chiquinquirá, La Luna y Umir) de origen marino a paludal, afectadas por variaciones del nivel del mar y por causas tectónicas. Dentro de este ciclo deposicional de primer orden se incluye la Fm. Lisama depositada en ambientes deltaicos.
- Sedimentitas terciarias de origen predominantemente fluvial (formaciones. La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado, Real y Mesa).

La Figura 14 muestra la columna estratigráfica generalizada del sector:

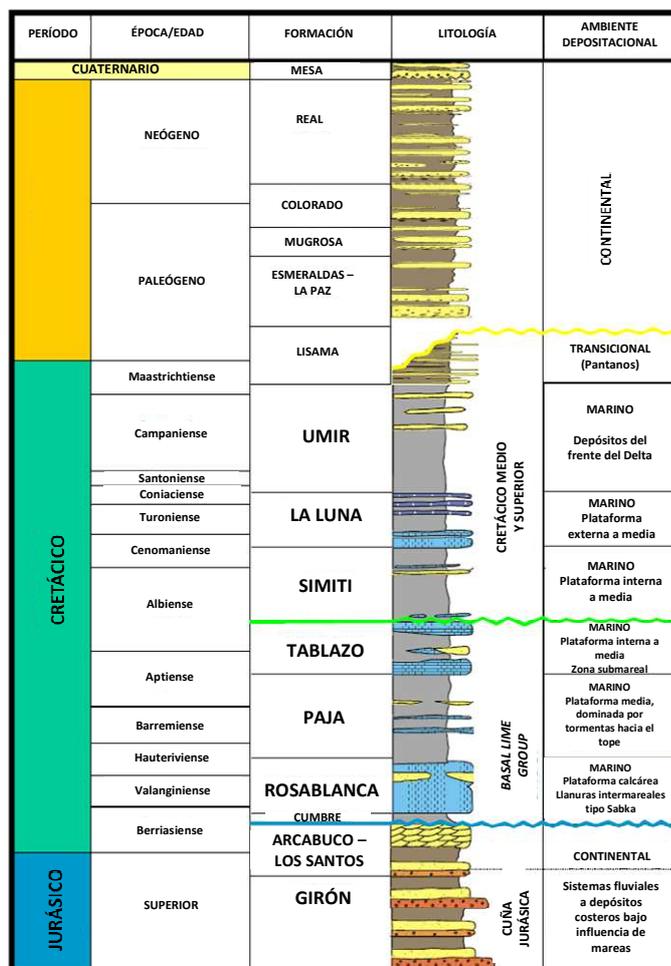


Figura 14. Columna estratigráfica generalizada del Valle Medio de Magdalena. Modificado de Rolón, 2004.

8.2.2 Mapas Geológicos de Superficie

En la Figura 15 se muestra los dos (2) transectos regionales, sección Córdoba – Antioquia y Bolívar-Santander, correspondiente al programa sísmico ANH Línea Regional Trasandina 4A sobre el Mapa Geológico de Superficie 1:500.000 de Ingeominas, 2007. Este mapa fue utilizado con el propósito de correlacionar en subsuelo los contactos de formaciones y estructuras geológicas (fallas, pliegues, entre otros).

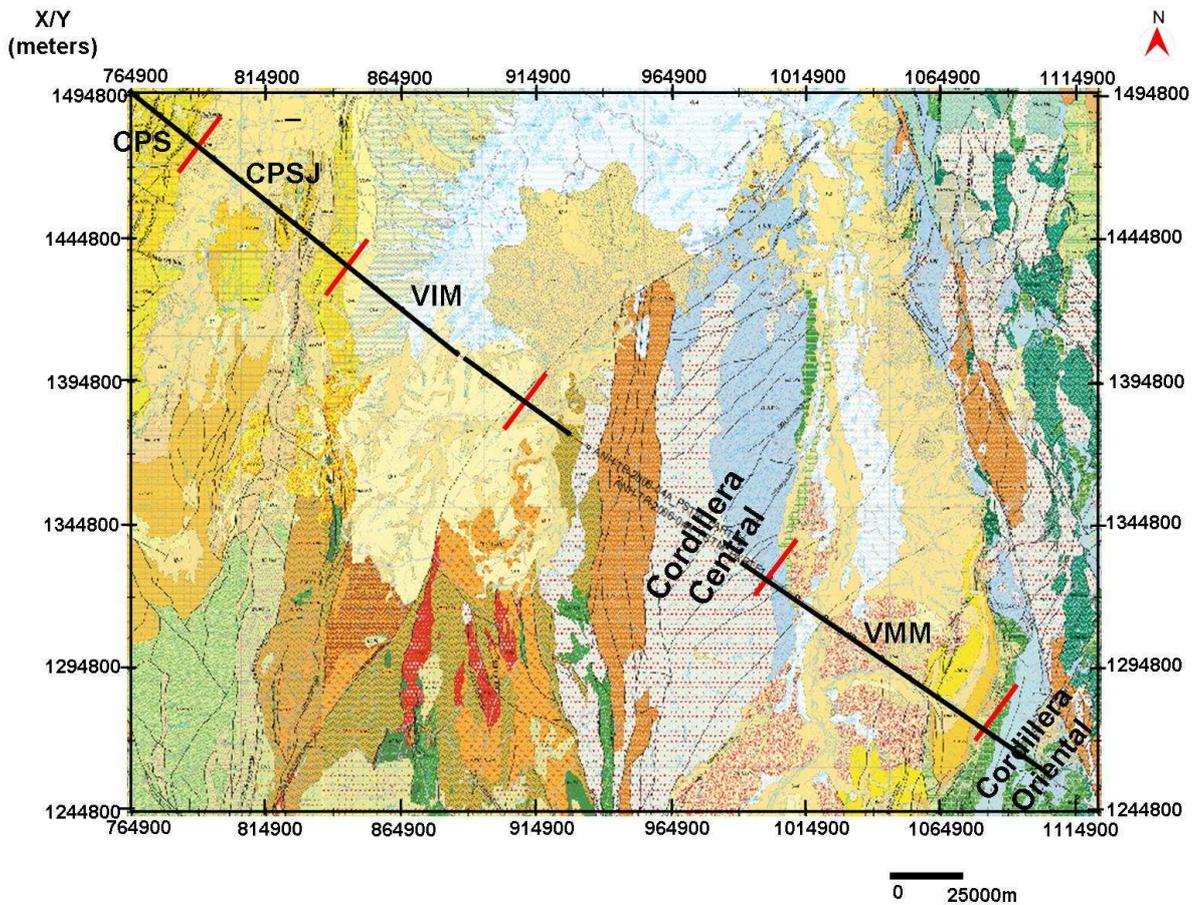


Figura 15. Líneas sísmicas pertenecientes al programa sísmico Trasandina sobre el Mapa Geológico de Colombia de superficie 1:500.000 (Ingeominas, 2007).

8.2.3 Horizontes Interpretados

La metodología aplicada para la interpretación de la sección Córdoba-Antioquia (área del Cinturón Plegado del Sinú (CPS), Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) y Valle Inferior de Magdalena (VIM)) y de la sección Bolívar-Santander (área del Valle Medio de Magdalena (VMM)), parte de la identificación de discontinuidades en las secciones sísmicas y su correlación con el mapa geológico de superficie (Ingeominas, 2007) de la Figura 15. Una vez identificados los horizontes, se procedió hacer una correlación sismo-estratigráfica basada en la geometría de reflectores, terminaciones, y su expresión sísmica (contenido de frecuencias y amplitud).

Sección Córdoba-Antioquia:

Se identificaron ocho (8) horizontes distribuidos según la región de la siguiente manera:

Tabla 1. Horizontes de la Sección Córdoba-Antioquia.

	ÁREA SINÚ	ÁREA DE SAN JACINTO	ÁREA DE VIM	DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE
Primer horizonte	D1(?)	D1(?)		Intra-Cretácico Superior 1.
Segundo horizonte	D2(?)	D2(?)		Intra-Cretácico Superior 2.
Tercer horizonte	D3	D3	D3	Discordancia Eoceno tardío.
Cuarto horizonte	D4	D4	D4	Asociado a la Base del Oligoceno ?
Quinto horizonte	D5		D5	Discordancia de edad Mioceno temprano de carácter regional asociada a la base del Porquero Inferior en VIM. Dentro del CPS corresponde a un cambio de régimen tectónico, representado por la Fm. Floresanto.
Sexto horizonte	D6		D6	Intra Mioceno medio. Discordancia de edad Intra o base del Mioceno medio?
Séptimo horizonte	D7		D7	Intra Mioceno medio, parte superior.
Octavo horizonte			D8	Mioceno superior / Plioceno - Pleistoceno..

		SINU SUR		SAN JACINTO		VALLE INFERIOR DE MAGDALENA	
Cuaternario	Holoceno						D10
	Pleistoceno		CORPA		SINCELEJOS		D9
NEOGENO	Plioceno	U6	D8	U6	D8	U6	CORPA D8
	MIOCENO		D7		D7	U5	TUBARA D7
		U5	PAJUIL D6	U5	TUBARA D6	U4	PORQUERO SUP. ? D6
		U4	FLORESANTO D5	U4	CARMEN D5		PORQUERO INFERIOR ? D5
	PALEOGENO	Oligoceno	U3	PAYO D4	U3	CIENAGA DE ORO D4	U3
Eoceno		U2	MARALU D3	U2	San Jacinto D3	U2	CIENAGA DE ORO Inferior D3
							?
CRETACICO SUPERIOR			D2		D2		
	U1	? D1	U1	LA CANSONA D1			?

Figura 16. Esquema de distribución de horizontes y unidades interpretadas en la sección Córdoba -Antioquia, área del Sinú, San Jacinto y VIM.

8.3 INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA Y ESTILOS ESTRUCTURALES

8.3.1 Interpretación Sismo-Estratigráfica

Se realizó con base en la correlación de los ocho (8) horizontes antes descritos, los cuales se definen a continuación por sección:

Sección Córdoba-Antioquia:

1) HORIZONTE D1: Intra-Cretácico Superior 1. Interpretado como **D1**, representa una discordancia intra Cretácica (Figura 17), posible base de la Formación Cansona en el CPSJ. Horizonte que aflora hacia el este del área de San Jacinto, tal como se observa en el mapa geológico de Ingeominas (2007), levantándose y somerizándose hacia el centro del área con la falla del Sinú y Sinú-Sur, y profundizándose hacia el centro del área del CPSJ, Figuras 17, 17a y 17b.

2) HORIZONTE D2: Intra-Cretácico Superior 2. Interpretado como **D2**, representa una discordancia intra Cretácica (Figuras 17, 17a y 17b), posible tope de la Formación Cansona. Al igual que el Horizonte D1, aflora hacia el este del área de San Jacinto, tal como se observa en el mapa geológico de Ingeominas (2007), se profundiza en la parte central y se levanta hacia el oeste controlado por las fallas del Sinú y Sinú Sur.

3) HORIZONTE D3: Eoceno tardío? Representa una discordancia intra-Eocena que podría estar asociada al levantamiento de la Cordillera Central y la consecuente remoción de la cobertura sedimentaria en el área o Orogénesis Pre-Andina (Cerón et al., 2005). Estratigráficamente se podría asociar a la base de la Formación San Jacinto en la región de CPSJ, Maralú en CPS y CDO en VIM (Figuras 17, 17a y 17b). Este horizonte tiende a exponerse en el centro del CPSJ profundizándose hacia el oeste y este del área, ver mapa del horizonte **D3** (Figura 18 y Anexo A1.1).

4) HORIZONTE D4: Intra Oligoceno? Asociado a la Formación Ciénaga de Oro (CDO). Horizonte que se erosiona completamente en la parte central, entre las Fallas Sinú y la falla al oeste de La Vara (Figuras 17, 17a, 17b y 17c), y se profundiza hacia el este del área, ver mapa del horizonte **D4** (Figura 19 y Anexo A1.2).

5) HORIZONTE D5: Mioceno temprano?. Posiblemente asociado a la base del Mioceno temprano. Horizonte que no se observa en la parte central del CPSJ, sino que se observa en el área de CPS y VIM (Figura 17a). Esta discontinuidad tiene un carácter regional de edad posiblemente Mioceno temprano, identificada en el Valle Inferior de Magdalena (VIM) como la Base de Porquero Inferior. A su vez ha sido reportada por González. et al., 2000 y Duque-Caro 1984-1990; y podría estar asociada a un evento tectónico que reactivó y deformó la región del Cinturón Plegado de San Jacinto, ver mapa del horizonte **D5** (Figura 20 y Anexo A1.3).

6) HORIZONTE D6: Mioceno medio? Asociado a la base del Mioceno medio, base de la Formación Tubará (equivalente lateral hacia el este a la Fm. Pajuil y hacia el oeste a la Fm. Porquero superior). Discordancia que no se observa en la parte central del CPSJ, sino que es inferida producto de la correlación sísmica del área del Cinturón del Sinú (Figura 21 y Anexo A1.4).

7) HORIZONTE D7: Intra-Mioceno Medio? Asociado a una discordancia intra-miocena medio. Discordancia que no se observa en la parte central del CPSJ, sino que se infiere hacia el área del Cinturón del Sinú, es decir se trajo por correlación sísmica (Figura 17).

8) HORIZONTE D8: Mioceno tardío/ Plioceno/Pleistoceno? Discordancia asociada a la base del Plioceno que pudiese representar el pulso final del levantamiento Andino. No se observa en la parte

central del CPSJ, se interpreta hacia las regiones del CPS, asociada a la Base de la Fm. Sincelejos y VIM, asociada a la Fm. Corpa (Figura 22 y Anexo A1.5).

SECCION CORDOBA / ANTIOQUIA

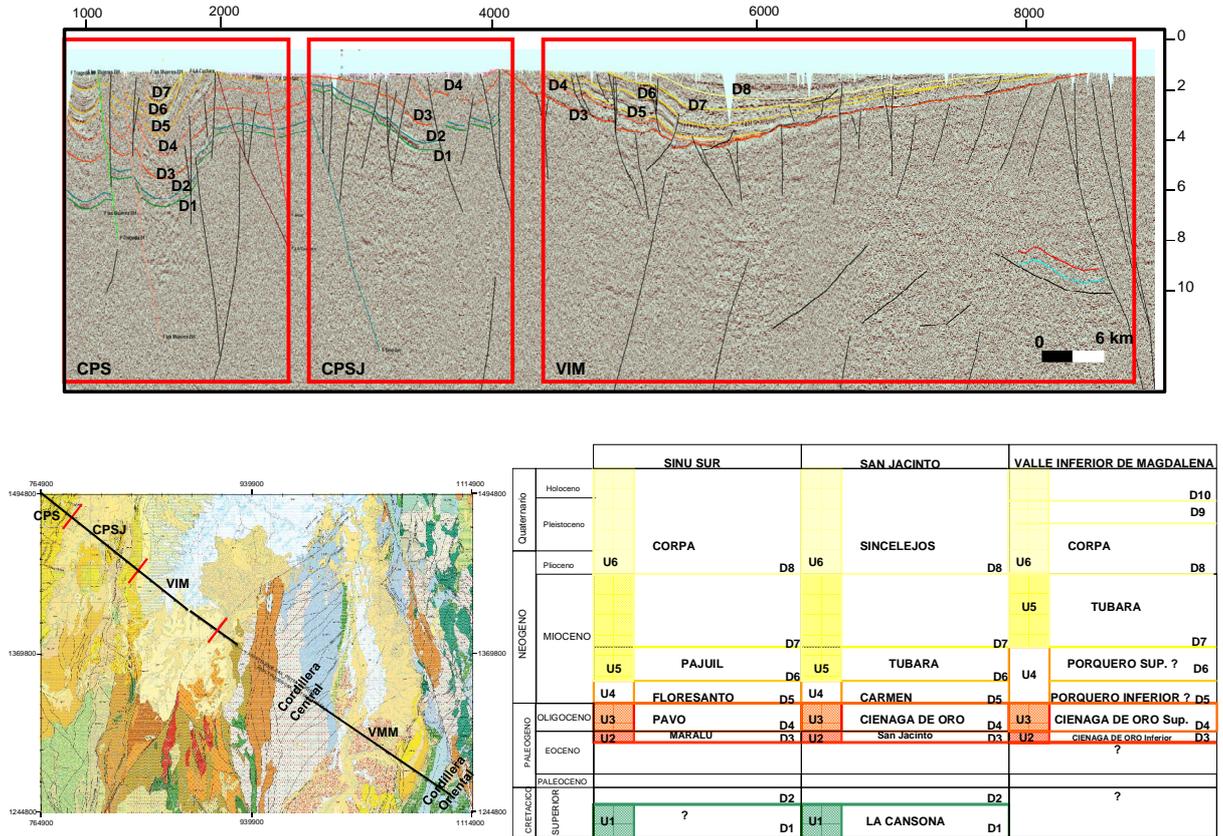


Figura 17. Sección sísmica Córdoba - Antioquia. Definición de horizonte sobre Línea ANH-TR-2006-04A. Nótese la baja relación S/R de la sección en la parte central (CPSJ). Los Horizontes D4, D3, D2 y D1 son levantados en la parte central (CPSJ), el resto de los horizontes no se depositan en la parte central, ver Anexos A3.1, A3.2, A3.3 y A3.4.

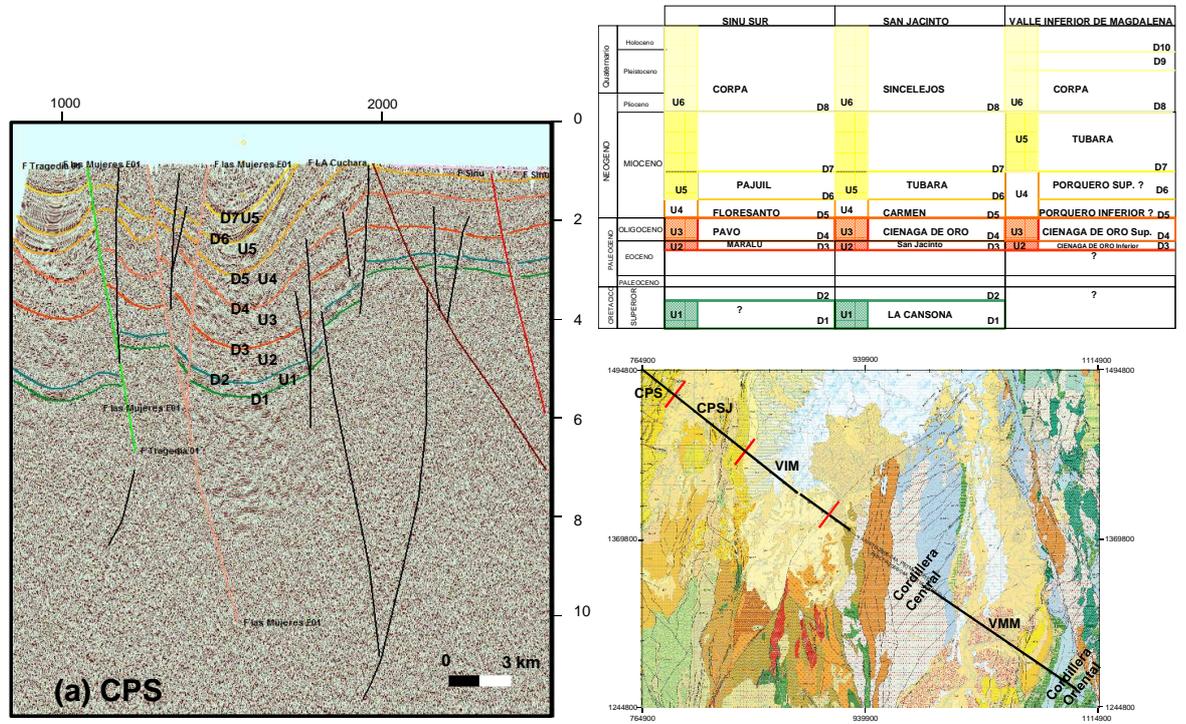
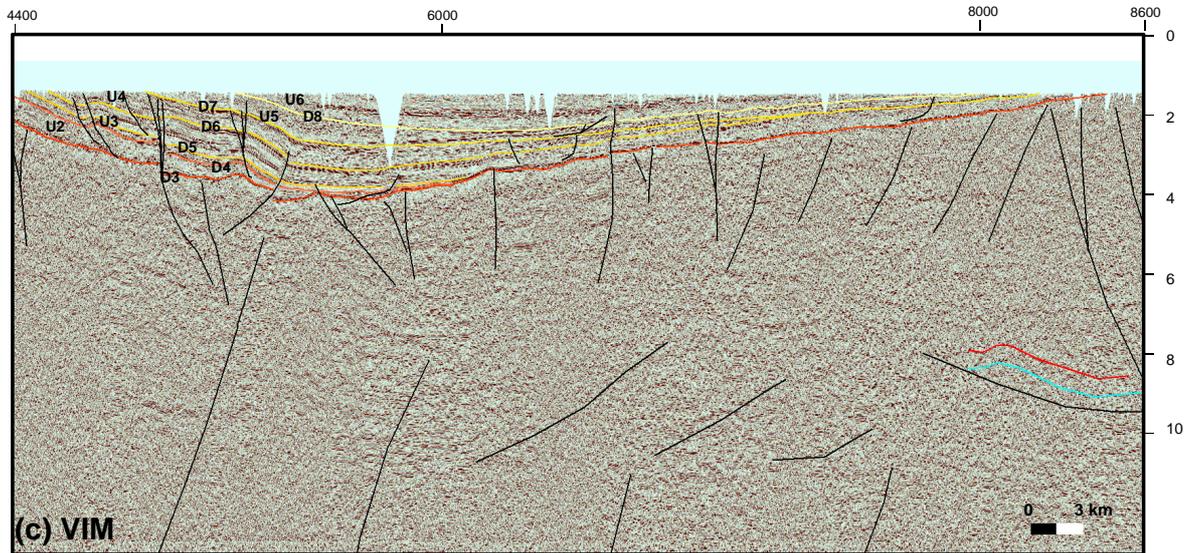


Figura 17a. Zoom de la sección sísmica Córdoba – Antioquia, CPS. Línea ANH-TR-2006-04A. Nótese la baja relación S/R de la sección en la parte oeste (CSJ).



	SINU SUR		SAN JACINTO		VALLE INFERIOR DE MAGDALENA	
Cuaternario	Holoceno					D10
	Plistoceno					D9
Plioceno	U6	CORPA	D8	U6	SINCELEJOS	D8
						U5
NEOGENO						TUBARA
						D7
	U5	PAJUIL	D6	U5	TUBARA	D6
	U4	FLORESANTO	D5	U4	CARMEN	D5
OLIGOCENO	U3	PAVO	D4	U3	CIENAGA DE ORO	D4
	U2	MATALLU	D3	U2	CIENAGA DE ORO SUPERIOR	D3
EODENO						
PALEOCENO						
CRETACEO	U1	?	D1	U1	LA CANSONA	D1

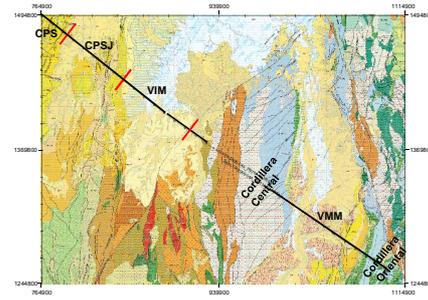


Figura 17c. Zoom de la sección sísmica Córdoba – Antioquia, CPS. Línea ANH-TR-2006-04A. Nótese la buena relación S/R de la sección en la parte este (VIM, San Jorge).

A continuación se presentan cinco (5) mapas correspondientes a los horizontes:

- D3: Eoceno tardío.
- D4: Oligoceno.
- D5: Mioceno temprano.
- D6: Mioceno medio.
- D8: Plioceno.

Estos mapas se realizaron con base en una extrapolación lateral del programa, controlada lateralmente y únicamente por el mapa 1:500.000 de geología de superficie de Ingeominas, 2007.

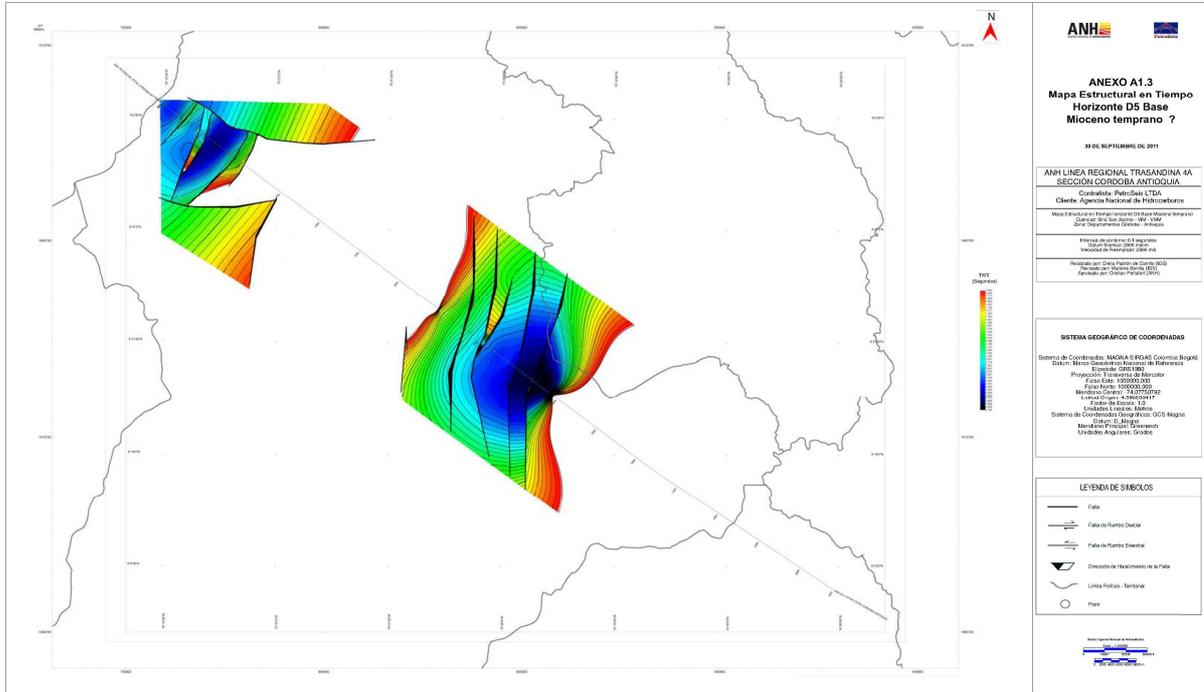


Figura 20. Mapa del Horizonte D5. Horizonte asociado al tope del Oligoceno-Base del Mioceno temprano, Fm. Floresanto (CPS), Fm. Carmen (CPSJ), Fm. Porquero Inferior (VIM)? Ver Anexo A1.3.

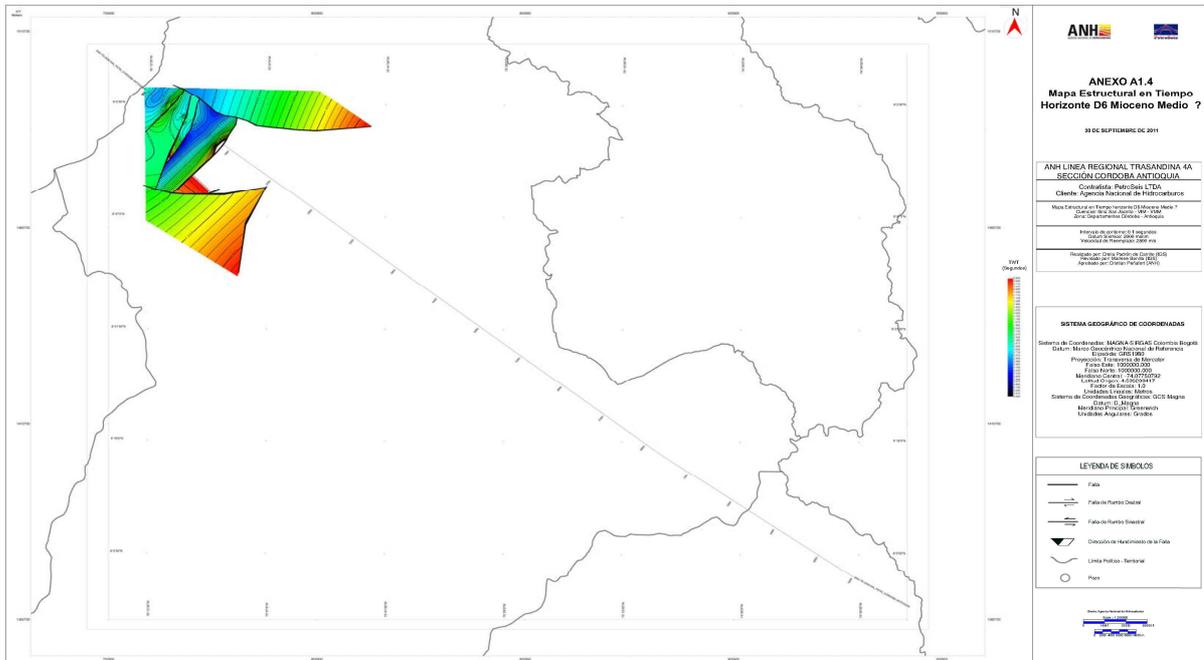


Figura 21. Mapa del Horizonte D6. Horizonte asociado al Mioceno-medio/tardío Fm. Pajuil (CPS), Fm. Tubará / Fm. Porquero (CPSJ y VIM). Ver Anexo A1.4.

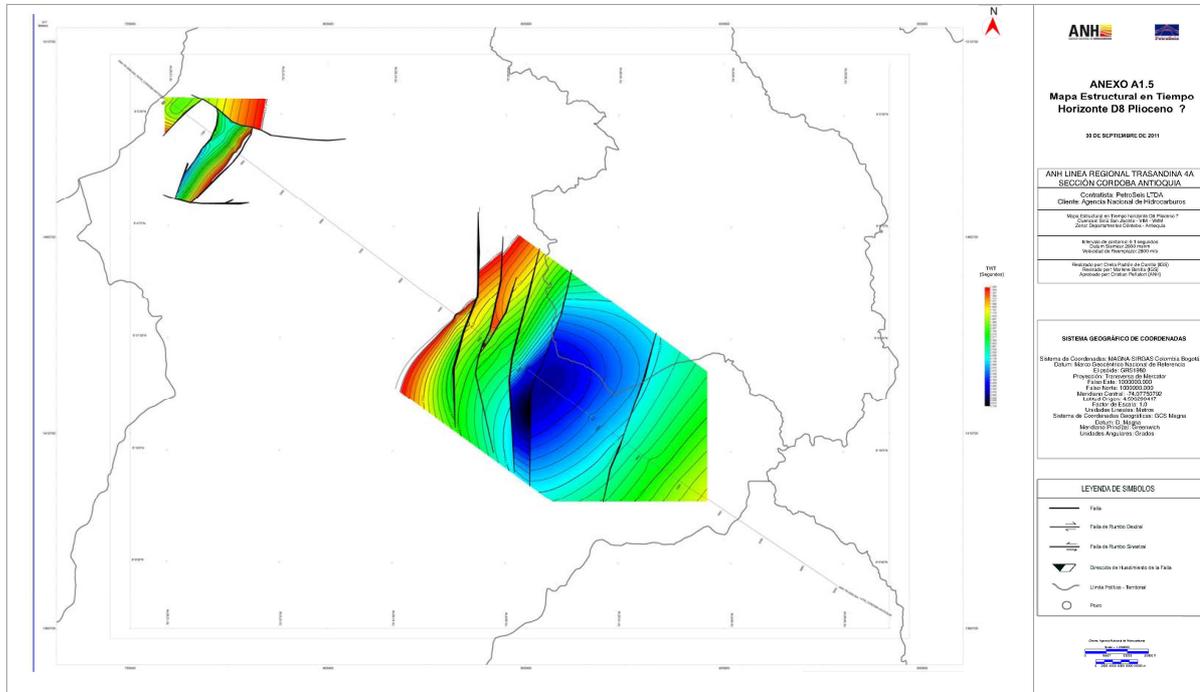


Figura 22. Mapa del Horizonte D8. Horizonte asociado al Plio-Pleistoceno Fm. Corpa? Ver Anexo A1.5.

En la siguiente Tabla, se resumen los horizontes interpretados y su correspondencia con los diferentes eventos tectono-estratigráficos.

Tabla 2. Horizontes interpretados y su correspondencia estratigráfica y tectónica.

HORIZONTE	CORRESPONDIENTE ESTRATIGRÁFICO			EVENTO TECTONO-ESTRATIGRÁFICO
	Sinú	San Jacinto	VIM	
D8	Fm. Corpa			Discordancia Plioceno-Mioceno tardía? – Levantamiento Andino
D7	Fm. Pajuil Superior / Tubará			Mioceno tardío, Separación de Sierra Nevada de Santa Marta
D6	Fm. Pajuil Inferior / Tubará / Porquero			Discordancia Intra-Mioceno medio-superior. Cierre de Panamá
D5	Fm. Floresanto / Fm. Carmen/ Porquero inferior			Discordancia Mioceno temprano
D4	Fm. Pavo / Fm. CDO			Marca la Discordancia Oligoceno-Eoceno tardío?
D3	Intra- Fm. Maralu? / San Jacinto / Fm. CDO.			Orogénesis Pre-Andina (Cerón et al., 2005)
D2	Intra- Fm. Cansona–Candelaria Eoceno medio?			
D1	Intra- Fm. Cansona-Candelaria Eoceno medio?			

A partir de la interpretación de los horizontes antes descritos se definieron las siguientes unidades:

U1: Intra-Cretácica o intra Eocena? Limitada en su base por el horizonte D1 y en su parte superior por el horizonte D2. La unidad U1 está conformada posiblemente por la Formación Cansona, o San Cayetano? Dentro del CPS y CPSJ, U1 tiene un espesor constante de ~250 ms TWT. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia variable de moderado a muy bajo, lo que hace que su correlación en el área no se pueda desarrollar.

U2: Intra-Eoceno. Limitada en su base por el horizonte D3 y en su parte superior por el horizonte D4. La unidad U2 podría estar conformada estratigráficamente por la Formación San Cayetano o *chert* de la Candelaria?, dentro del CPSJ. Sin embargo, no se puede seguir a nivel del CPS y VIM. Es por ello que definimos a U2 hacia el VIM equivalente a la parte basal de la Fm. CDO, la cual es una secuencia que tiende acunarse hacia el basamento, Figuras 17c, 25 y 32. En relación al espesor, éste es variable dependiendo del área pero en general es de ~400 ms TWT. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia variable de moderado, lo que hace que su correlación en el área no se pueda desarrollar.

U3: Intra-Oligoceno. Limitada en su base por el horizonte D4 y en su parte superior por el horizonte D5. La unidad U3 está conformada estratigráficamente, por la Formación Pavo? (Figura 17). En relación a su espesor, éste es variable entre ~ 600 ms y ~ 250 ms TWT. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia de bajo en el área de CPS y CPSJ lo que no facilita su correlación. No obstante en el VIM la relación S/R es moderada.

U4: Intra-Oligoceno. Limitada en su base por el horizonte D5 y en su parte superior por el horizonte D6. U4 está conformada estratigráficamente por la Formación Floresanto en el área del CPS, Fm. Carmen en el área de CPSJ y Porquero en el VIM. En relación a su espesor, éste es variable entre ~ 700 ms y ~ 250 ms TWT, ya que son depósitos contemporáneos a la deformación. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia bueno-moderado, Figura 19.

U5: Mioceno. Limitada en su base por el horizonte D6 y en su parte superior por el horizonte D8, Figura 20. La unidad U5 está conformada estratigráficamente por la Formación Paujil (CPS), Tubará (CPSJ) y Fm. Porquero-Tubará (VIM). El espesor equivalente de ésta es variable entre ~1000 y ~ 500ms TWT, debido a que forma parte de depósitos contemporáneos a la deformación. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia bueno-moderado, Figura 20.

U6: Plio-Pleistoceno Limitada en su base por el horizonte D8, Figuras 17, 17a,17b y 17c. La unidad U6 está conformada estratigráficamente, por la Fm. Corpa-Sincelejos.

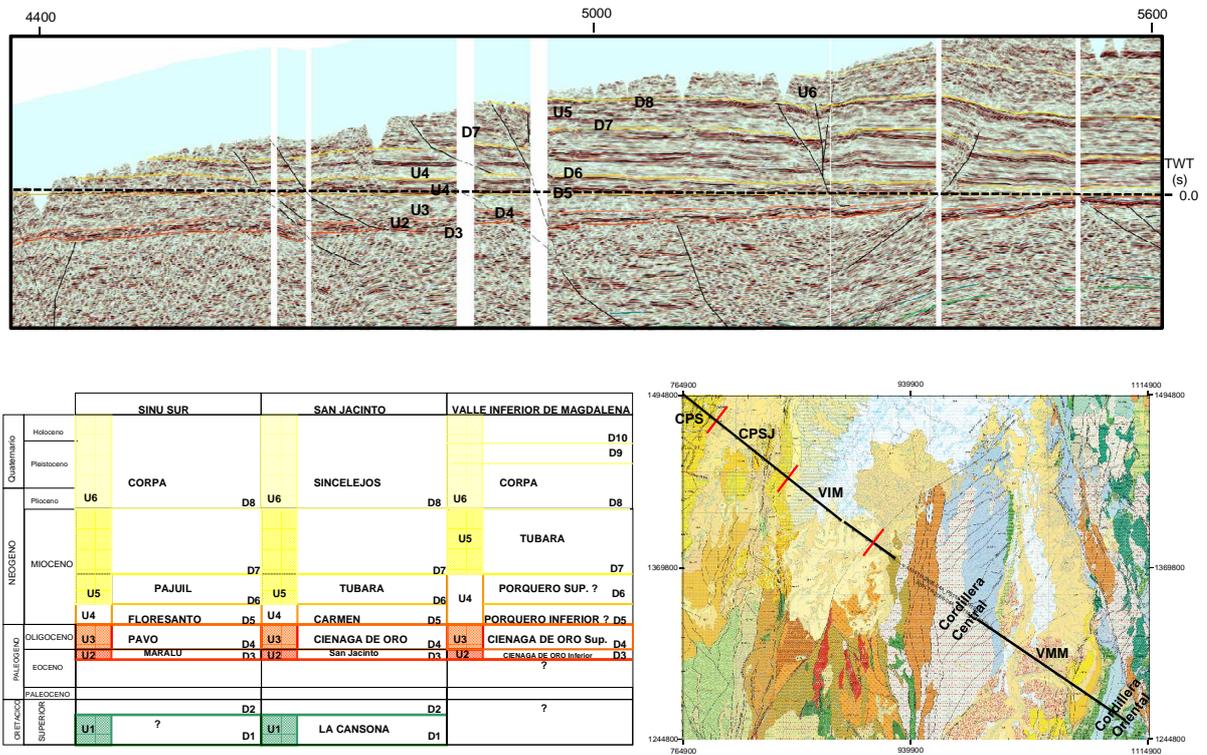


Figura 23. Distribución de unidades en el VIM, Sub cuenca de San Jorge. Nótese el estilo estructural a nivel de basamento y fallas normales reinvertidas. Las unidades: U1, posiblemente por un paquete intra-cretácico estratificado?, y U2, asociada a la secuencia basal de CDO.

8.3.2 Estilos Estructurales Definidos

En relación al fallamiento identificado dentro de la sección Córdoba- Antioquia (CPS, CPSJ y VIM) se observan esencialmente dos (2) familias de fallas:

1. Fallas normales, con orientación ~ N-S, a nivel de basamento asociadas a depósitos pre-oligocenos?. Fallamiento que en algunos sectores refleja inversión positiva (Figuras 17a, 17b y 17c).
2. Fallamiento inverso de alto ángulo con vergencia hacia el oeste asociado a la transpresión producto de los diferentes pulsos de deformación suscitados en el CPS y CPSJ (Figuras 17a, 17b y 17c).

Otro elemento de naturaleza sedimentario, pero que causa deformación estructural evidenciado en el área del CPS es el diapirismo de lodo.

8.3.3 Diferentes dominios tectónicos de la Sección Córdoba-Antioquia

Las estructuras principales del área de estudio mantienen una orientación NE-SE. Donde la sísmica muestra un fallamiento normal pre-Oligoceno?, con la misma orientación (NE-SE) sugiriendo una transpresión posterior. La cual reinvierte algunas estructuras desarrollando geometrías en Flor positiva. La reactivación de estas estructuras desarrollan dentro el CPS pequeñas sub-cuencas separadas por los fallas inversas de alto ángulo: Moñitos, Las Mujeres y Tragedia, de oeste a este. Estas cuencas que evidencian depósitos contemporáneos a la sedimentación (Figura 17) que han sido fragmentados y desplazados por las fallas rumbo deslizante, como: Ébano, Mangle y El Dique, de sur a norte.

La geometría de las sub-cuencas desarrolladas dentro del CPS, no son tan evidentes debido a que la sección sísmica no alcanza a ver completamente la región y la relación S/R es baja en los flancos de los sinclinales, producto de la interferencia del diapirismo de lodo. No obstante, a grandes rasgos pareciera mantener un desarrollo en secuencia, con una dirección de deformación hacia el oeste. Mostrando que los depocentros se hacen más espesos hacia el sureste y más delgados y someros hacia el noroeste, (Figura 17a). Tal como Cerón et al. (2005) esquematizan la cuña acrecionaria de Sinú.

Sección Bolívar-Santander:

Se identificaron cinco (5) horizontes:

Tabla 3. Horizontes de la sección Bolívar-Santander.

	VALLE MEDIO MAGDALENA, VMM	DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE
Primer horizonte	D1	Jurásico Tardío?
Segundo horizonte	D2	Cretácico Superior?
Tercer horizonte	D3	Discordancia Eoceno inferior?.
Cuarto horizonte	D4	Asociado a la Base del Oligoceno?
Quinto horizonte	D6	Discordancia de edad Mioceno medio

La interpretación sísmica parte de la correlación con el mapa geológico 1:500.000 y las expresiones sísmicas regionales asociadas a discontinuidades, producto de los diferentes pulsos de deformación ocurridos dentro de la sección Bolívar–Santander, programa sísmico ANH-TR-2006-04A , las cuales se esquematizan en la Figura 24.

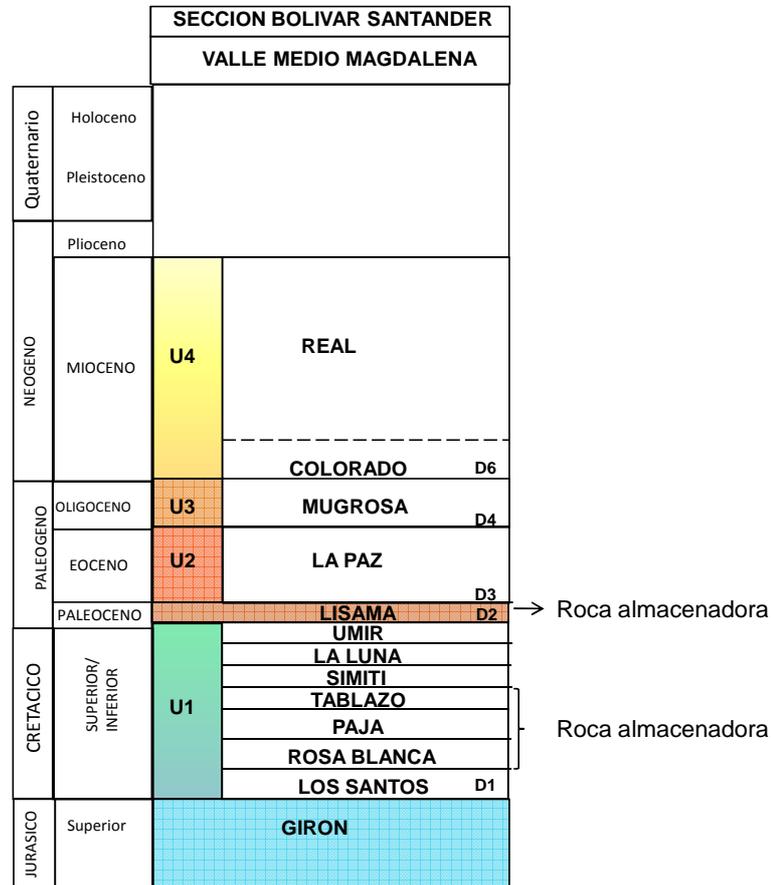


Figura 24. Esquema de distribución de horizontes y unidades interpretadas en la sección Bolívar-Santander.

1) HORIZONTE D1: Tope de Jurásico Tardío? Interpretado como **D1**, representa una discordancia intra Cretácica inferior (Figura 25 y Anexo A5.4), posible base de la Fm. Los Santos / Rosa Blanca. Horizonte que aflora hacia el oeste y este del área de VMM, tal como se observa en el mapa geológico de Ingeominas (2007).

2) HORIZONTE D2: Cretácico Superior? Interpretado como **D2**, representa una discordancia intra Cretácica superior (Figura 25 y Anexo A5.5), posible tope de la Formación Umir. Al igual que el Horizonte D1, aflora hacia el oeste del área de VMM, tal como se observa en el mapa geológico de Ingeominas (2007).

3) HORIZONTE D3: Eoceno inferior? Representa una discordancia Eocena que podría estar asociada al levantamiento de la Cordillera Central y la consecuente remoción de la cobertura sedimentaria en el área o Orogénesis Pre-Andina (Kellogg et al., 2005). Estratigráficamente se podría asociar a la base de la Formación Lisama (Figura 20 y Anexo A5.1).

4) HORIZONTE D4: Intra Oligoceno? Asociado a la Formación Mugrosa (Figura 25 y Anexo A5.2).

5) **HORIZONTE D6:** Mioceno temprano?. Posiblemente asociado a la base del Mioceno medio, Fm. Colorado (Figura 20 y Anexo A5.3).

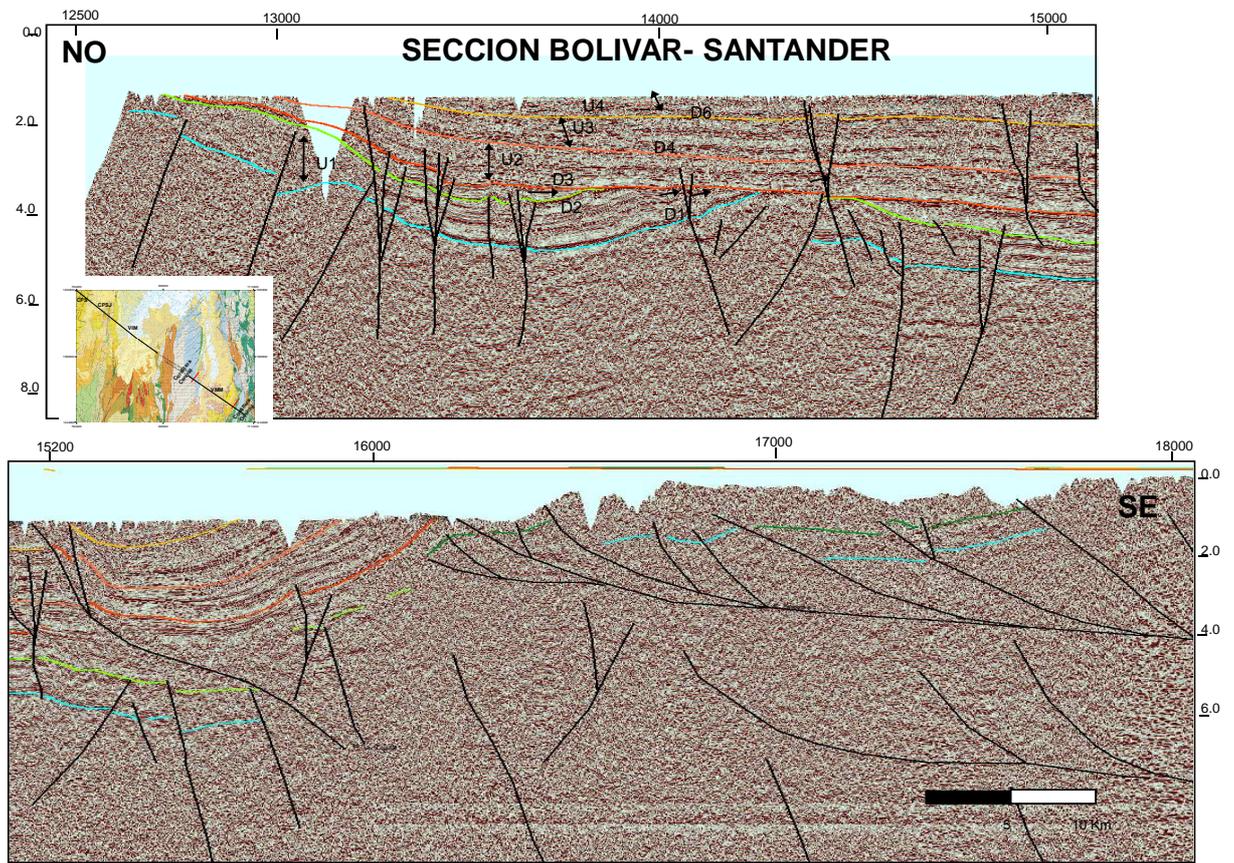


Figura 25. Sección sísmica Bolívar-Santander. Definición de horizonte sobre Línea ANH-TR-2006-04A. Nótese la buena relación S/R de la sección en el VMM, ver Anexos A8.1 y A8.2.

A continuación se presentan cinco (5) mapas correspondientes a los horizontes:

- D1: Jurásico Medio Superior ?
- D2: Cretácico Superior ?
- D3: Base Eoceno temprano-tardío ?
- D4: Base Oligoceno ?
- D6: Mioceno Medio ?

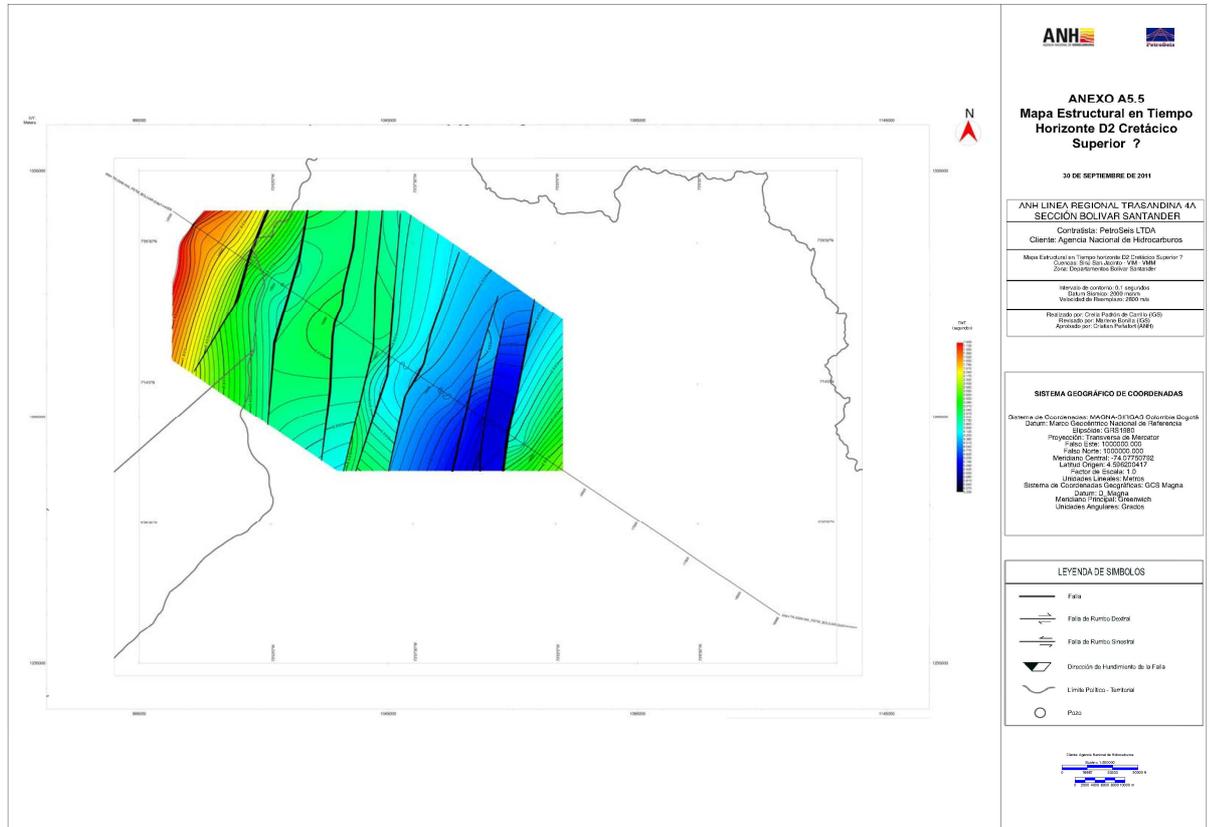


Figura 27. Mapa del Horizonte D2. Horizonte asociado al tope de la Fm. Umir. Ver Anexo A5.5.

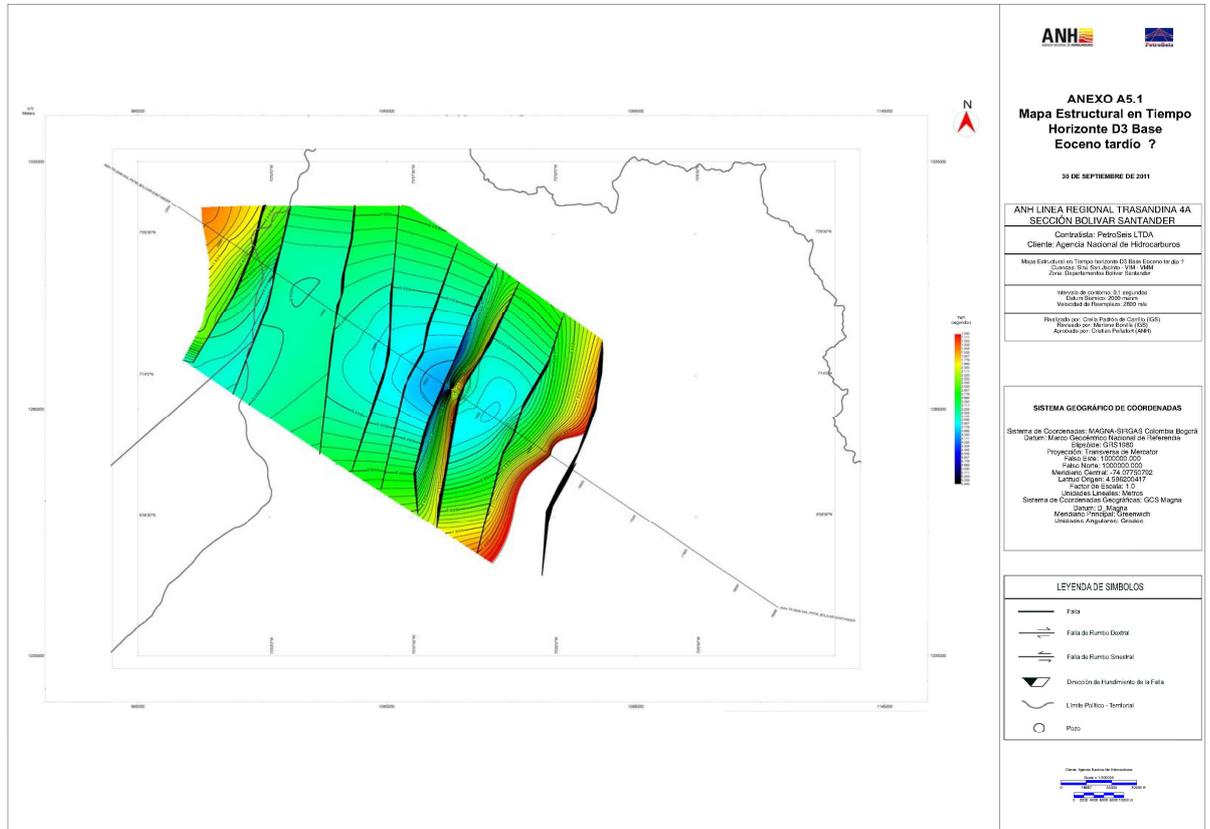


Figura 28. Mapa del Horizonte D3. Horizonte asociado a la discordancia Eocena. Ver Anexo A5.1.

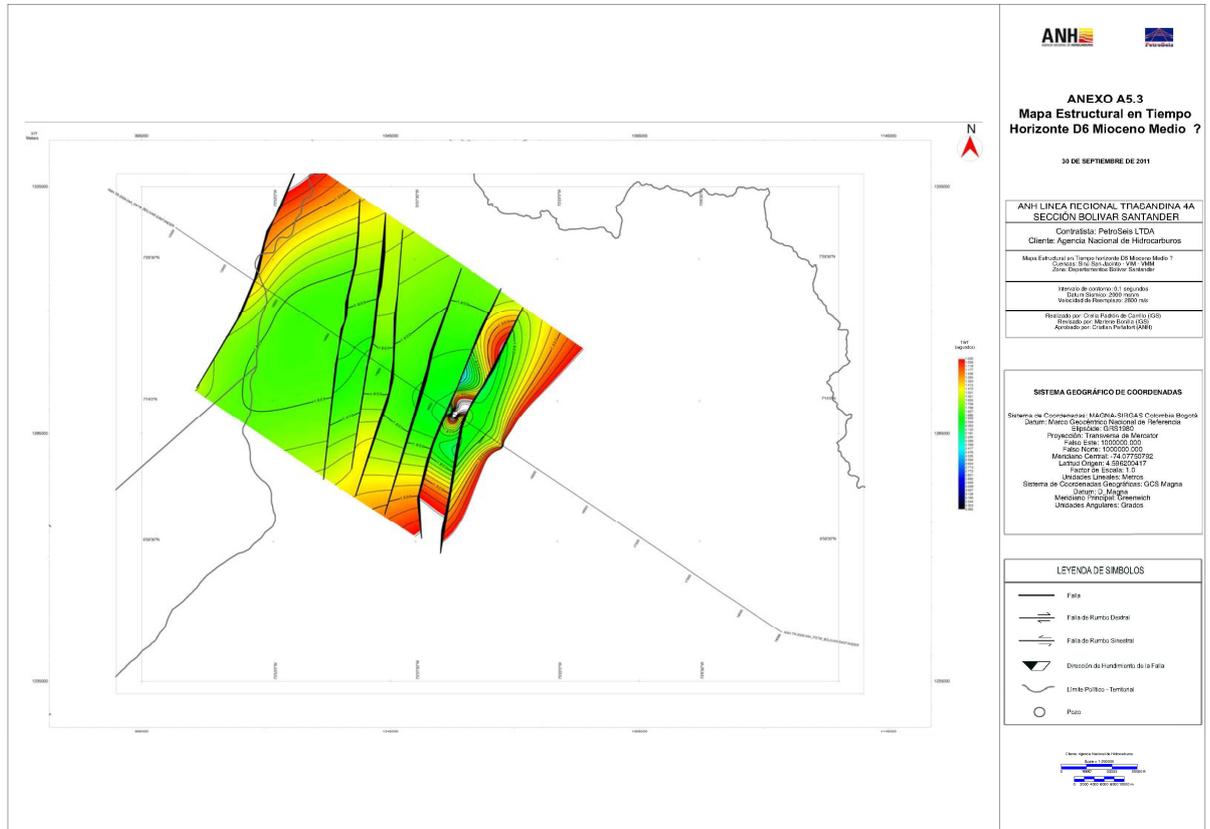


Figura 30. Mapa del Horizonte D6. Horizonte asociado a la base de La Fm. Colorado. ver Anexo A5.3.

En la siguiente Tabla, se resumen los horizontes interpretados y su correspondencia con los diferentes eventos tectono-estratigráficos.

Tabla 4. Horizontes interpretados y su correspondencia estratigráfica y tectónica.

HORIZONTE	CORRESPONDIENTE ESTRATIGRÁFICO	EVENTO TECTONO-ESTRATIGRÁFICO
D6	Fm. Colorado /Real?	Mioceno medio
D4	Fm. Mugrosa?	Oligoceno
D3	Fm. Lisama?	Eoceno superior?
D2	Fm. Umir?	Cretácico Tardío
D1	Tope de Girón?	Jurásico Tardío?

A partir de la interpretación de los horizontes antes descritos se definieron las siguientes unidades:

U1: Jurásica-Paleocena? Limitada en su base por el horizonte D1 y en su parte superior por el horizonte D3. La unidad U1 está conformada posiblemente por las formaciones Tope de Girón, Los Santos, Rosa Blanca, Paja, Tablazo, Simiti, La luna, Unir y Lisama. U1 tiene un espesor de ~1500 ms TWT, mantiene una continuidad en sus reflectores paralela/sub-paralela reflejando un ambiente de baja energía. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia bueno. A partir del *Flat* del horizonte D2 (finales del Cretácico - principios del Paleoceno) se inició la deformación compresiva, Figura 31.

U2: Intra-Eoceno. Limitada en su base por el horizonte D3 y en su parte superior por el horizonte D4. La unidad U2 podría estar conformada estratigráficamente por la Formación La Paz? U2 posee un espesor variable entre 200~900 ms TWT. En el flat de la sección (Figura 32) se observa como la base de esta unidad erosiona a la U1. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia variable de moderada-buena.

U3: Intra-Oligoceno. Limitada en su base por el horizonte D4 y en su parte superior por el horizonte D6. La unidad U3 está conformada estratigráficamente por la Formación Mugrosa, la cual tiende a engrosarse hacia el este desarrollando un espesor variable entre 200 ~ 700 ms TWT, Figura 25. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia moderada-buena.

U4: Mioceno-medio? Limitada en su base por el horizonte D6. U4 está conformada estratigráficamente, por la Formación Colorado/Real. En relación a su espesor, éste es variable entre ~ 400 ms TWT. Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia bajo-moderado, Figura 25.

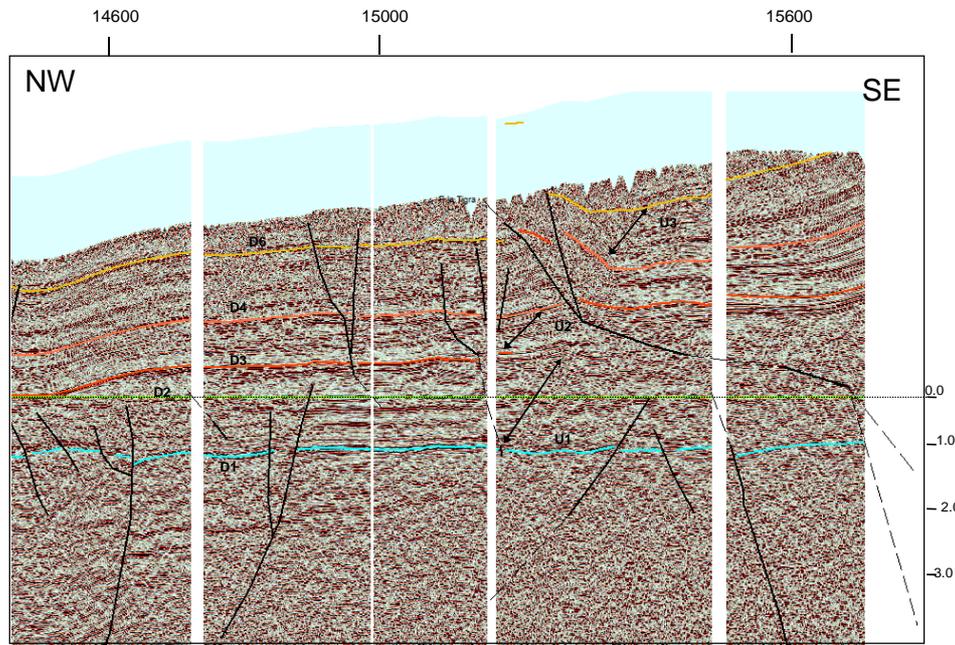


Figura 31. Flatten D2. Nótese que pre-D2 existía fallamiento normal.

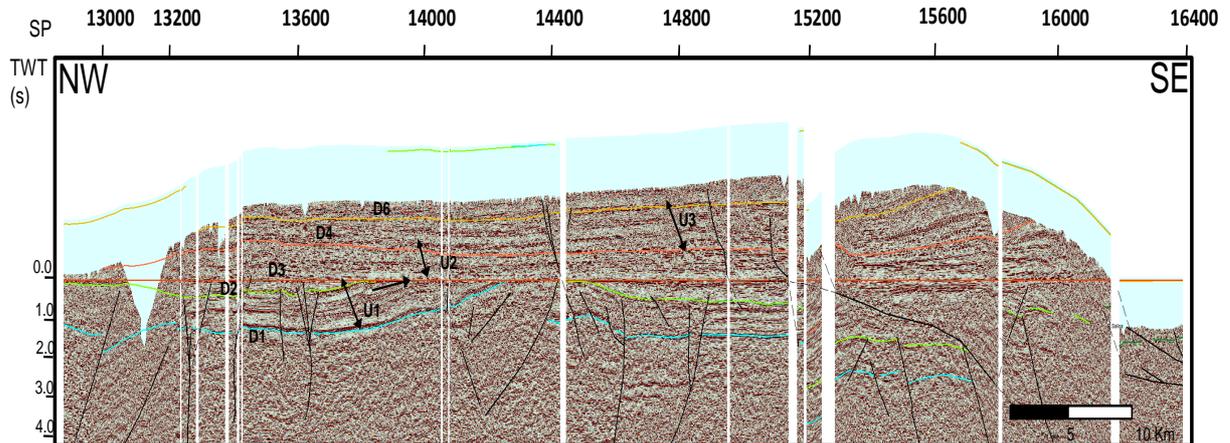


Figura 32. Flatten de D3. Nótese como el horizonte D3 representa una superficie erosiva que decapita a las unidades infrayacente (U2 y U1).

8.3.4 Estilos Estructurales Definidos, VMM

En relación al fallamiento identificado dentro de la sección Bolívar-Santander, se observan esencialmente tres (3) familias de fallas:

1. Fallas normales, con orientación ~ NE-SE, a nivel de basamento de edad Jurásica Tardío–Cretácico Temprano? Fallamiento que en algunos sectores refleja inversión positiva, Figuras 25, 31 y 32.
2. Fallamiento inverso de alto ángulo con vergencia hacia el este asociado a la transpresión producto de los diferentes pulsos de deformación suscitados en VMM, Figura 25.
3. Fallas inversas de bajo ángulo con vergencia hacia el oeste, con cabalgamientos de la cordillera oriental que sobrecorren rocas cretácicas, Figura 25.

8.3.5. Dominios Tectónicos

Sección Bolívar Santander

Las estructuras principales del área de estudio mantienen una orientación NE-SE. Donde la sísmica muestra un fallamiento normal pre-Jurásico Tardío? Con la misma orientación (NE-SE) sugiriendo una reactivación positiva con vergencia hacia el Este. La cual reinvierte algunas estructuras desarrollando geometrías en Flor positiva, y fallas inversas de alto ángulo. En contra sentido se observan fallas inversas de ángulo bajo con vergencia hacia el Oeste, que desarrollan una zona triangular entre la Falla La Tigra y la Falla Suárez.

9. SÍSMICA MULTICOMPONENTE Y ATRIBUTOS SÍSMICOS

9.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA PS

TRANSFORMACIÓN DE TIEMPOS DE ONDA PP (TWTp) A TIEMPO DE ONDA PS (TWTs):

Durante la fase de interpretación de los reflectores de interés en las líneas de onda PP, al comparar los mismos eventos en las líneas PS, se observó proporcionalidad entre los eventos en la escala vertical (tiempo). En este sentido, con la finalidad de agilizar las labores de interpretación se desarrolló una metodología para transformar los tiempos de los horizontes interpretados en las líneas de onda PP al tiempo de la línea PS.

La metodología se fundamentó en las ecuaciones que vinculan el tiempo de tránsito de la onda P y la onda S.

$$T_w T_{ps} = \frac{T_w T_p}{2} + \frac{d}{V_s} \quad (\text{ec. 1})$$

$$T_w T_{ps} = \frac{T_w T_p}{2} + \left(1 + \frac{V_p}{V_s}\right) \quad (\text{ec. 2})$$

$$\frac{V_p}{V_s} = 2 + \frac{T_w T_{ps}}{T_w T_p} - 1 \quad (\text{ec. 3})$$

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es posible establecer una relación entre los tiempos interpretados en las líneas de onda PP y los tiempos de los mismos eventos en las líneas PS. En el proceso de muestreo se emplearon puntos control, donde el número del punto de tiro (SP) y los rasgos topográficos jugaron un papel importante en el proceso de selección de los puntos. Una vez seleccionados los puntos se construyó un gráfico de dispersión, con la finalidad de evaluar modelos de ajuste estadístico que pudieran predecir el TWTps a partir del TWTp. Con base en esta ecuación, se realizó la conversión de los horizontes interpretados en las líneas de onda P a horizontes de onda PS. Al realizar la inspección de los horizontes se encontró que los horizontes estimados mediante la ecuación delineaban los rasgos estructurales interpretados en los cortes de onda P con un bajo nivel de corrección.

La aplicación de la metodología antes expuesta generó un valor agregado; debido a que aceleró el proceso de interpretación. Además permitió establecer las fortalezas de la línea de onda PS para destacar eventos estructurales que se presentaban con baja resolución en la línea de onda PP. Para alcanzar una correlación óptima entre las secciones PP y PS sería indispensable información de pozos con registros sísmicos dipolares que permitan calibrar, mediante sismogramas sintéticos, las relaciones entre los tiempos PP y PS para eventos pertenecientes a una misma profundidad. La metodología aquí empleada permite obtener un bosquejo rápido de cómo deben ajustarse los tiempos de ambas secciones para ubicar reflectores que se infieren pertenecen a un mismo nivel estratigráfico. La relación real entre los tiempos PP y PS es controlada por la variación del cociente Vp/Vs en profundidad.

VENTAJAS DE LA INTERPRETACIÓN COMBINADA DE SECCIONES PP Y PS:

Con la información conjunta de las secciones de onda P y onda convertida, se identificaron las siguientes ventajas de su uso combinado para la interpretación de líneas 2D: 1) Eliminación de reflexiones fuera del plano para la sección de onda PP, 2) Relaciones S/R complementarias y 3) Ayuda para la definición de terminaciones estratigráficas

9.2 INVERSIÓN ACÚSTICA PP

La inversión sísmica tiene como finalidad generar un modelo de parámetros elásticos de las rocas a partir de los datos sísmicos. Estos parámetros pueden ser impedancia acústica, impedancia PS, densidad, entre otros. En el caso particular de la inversión acústica PP el principal producto que se obtiene es la impedancia acústica P, parámetro que ha sido utilizado por una gran cantidad de autores como indicador directo de hidrocarburos. En efecto, independientemente del tipo de arena y yacimiento AVO que se posea en la zona de estudio, se puede evidenciar que la presencia de gas o petróleo liviano en el yacimiento tiende a disminuir considerablemente los valores de impedancia acústica (Hilterman, 2001).

La técnica utilizada en este proyecto es la inversión basada en un modelo inicial y para llevar a cabo este tipo de inversión se, requiere de cuatro (4) principales parámetros de entrada:

- Horizontes interpretados: Permitirán incorporar el modelo estructural inicial al proceso de inversión.
- Registros de pozos sísmicos y densidad para cada uno de los pozos calibrados con la sísmica. En el caso particular de este proyecto se utilizaron las velocidades de procesamiento para la construcción del modelo geológico inicial.
- Cubo sísmico apilado.
- Ondícula extraída del cubo sísmico.

En la Figura 33, se muestra un diagrama de flujo del proceso de inversión sísmica basada en un modelo, en primer lugar se genera el modelo inicial de impedancia P con los registros de pozo y los horizontes interpretados, seguidamente cada traza de impedancia acústica se convoluciona con la ondícula extraída de los datos sísmicos y se obtiene el sismograma sintético. Una vez obtenido el sintético se procede a compararlo (calculando el error) con la traza sísmica real, si el error entre ambas trazas es muy pequeño el proceso finaliza y se repite para la siguiente traza sísmica. En caso contrario, el modelo inicial es modificado para generar otro sintético, el cual será comparado nuevamente con la traza sísmica real, este proceso se repetirá hasta que la diferencia entre la traza real y el sintético sea lo suficientemente pequeña.

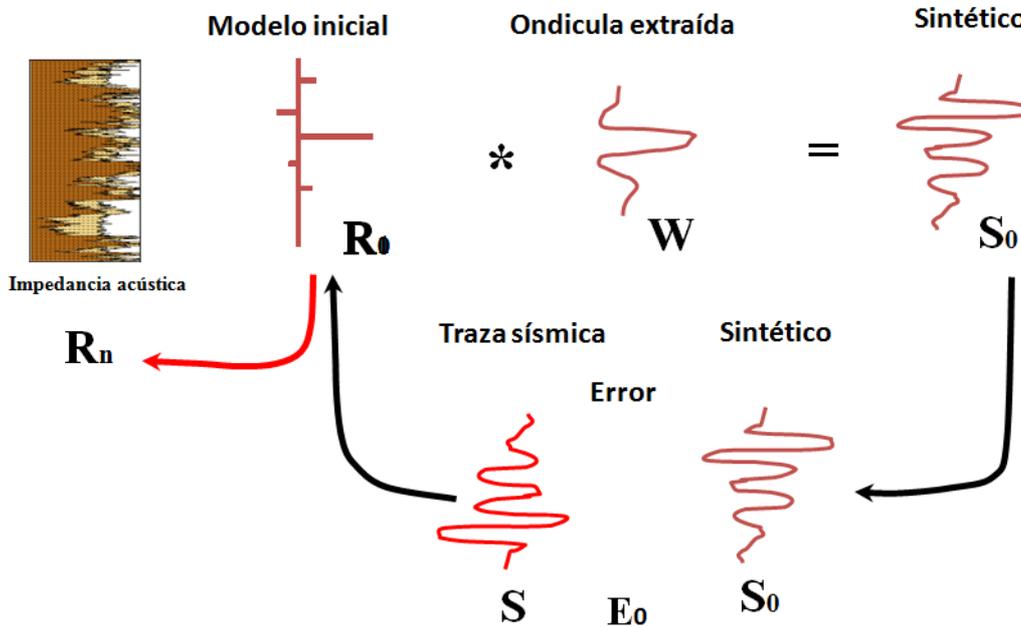


Figura 33. Diagrama de flujo de una inversión acústica basada en un modelo.

Como se mencionó anteriormente, el modelo inicial para realizar la inversión en las dos (2) partes de la línea trasandina fue construido a partir de las velocidades de procesamiento de las líneas. El resultado de este tipo de inversión es la impedancia acústica PP, la cual fue de gran ayuda para la identificación de posibles zonas de interés exploratorio, que serán mostradas en la sección de integración e identificación de prospectos. Los productos finales de esta fase de inversión acústica son archivos “.sgy” de impedancia acústica para las cuatro líneas de la zona de estudio.

9.2 INVERSIÓN SÍSMICA MULTICOMPONENTE (ZP, D)

La sísmica multicomponente es la generación y grabación de ondas compresionales P y ondas de corte S. Para este proyecto, los datos adquiridos y procesados en campo corresponden a sísmica de onda convertida, donde las ondas que fueron grabadas se propagaron parcialmente como onda P (durante la generación) y parcialmente como onda S, como se observa en la Figura 34.

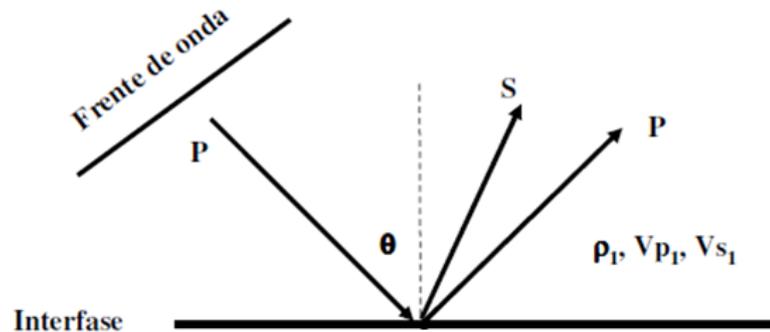


Figura 34. Propagación de onda PP y onda convertida (PS).

El análisis de sísmica multicomponente tiene una gran cantidad de ventajas entre las que se destacan el análisis de la relación V_p/V_s y otros parámetros como densidad para discriminación de litología y fluidos, análisis de fracturas, construcción de imágenes de horizontes con bajo contraste para la onda P.

Las inversiones realizadas a los datos de onda convertida en este proyecto fueron inversión conjunta de onda convertida e inversión acústica de onda convertida, las cuales se comentarán a continuación.

9.4 INVERSIÓN CONJUNTA DE ONDA CONVERTIDA

Esta inversión es basada en un modelo inicial de impedancia P, impedancia S y densidad, el cual es construido con la información estructural y de pozo del área. Los parámetros de entrada utilizados para llevar a cabo este tipo de inversión son los siguientes:

- Horizontes interpretados tanto en la sísmica apilada PP como en la sísmica apilada PS: Éstos permitirán incorporar el modelo estructural inicial al proceso de inversión.
- Registros de pozos sónicos y densidad para cada uno de los pozos calibrados con la sísmica. En el caso particular de este proyecto, se utilizaron las velocidades de procesamiento para la construcción del modelo geológico inicial.
- Cubo sísmico apilado.
- Ondícula extraída del cubo sísmico.

Esta inversión utiliza el mismo procedimiento que el mostrado en la inversión acústica PP, donde se construye un modelo inicial y es modificado hasta que sean lo suficientemente iguales. La diferencia de esta inversión es que no es solo un modelo inicial de impedancia, sino que también involucra un modelo de impedancia S y densidad; así como también realiza dos (2) comparaciones, la primera del sismograma sintético PP con la sísmica acústica PP, y la segunda del sismograma sintético de onda convertida PS con la sísmica apilada PS.

La gran ventaja de este tipo de inversión es que permite obtener el atributo de densidad, parámetro de las rocas que ha sido muy utilizado en la industria petrolera. La desventaja de esta técnica es que requiere una información sísmica con muy buena relación señal ruido. Para este trabajo se realizaron varias pruebas, sin embargo, los datos de onda convertida fueron demasiado ruidosos, lo cual imposibilita la utilización de estos resultados.



9.5 INVERSIÓN PS DE ONDA CONVERTIDA

Este tipo de inversión funciona exactamente igual que la inversión acústica PP, la diferencia entre ellas es que el parámetro de entrada de esta inversión es la línea sísmica apilada PS con los horizontes interpretados en su correspondiente modelo. El resultado de esta inversión no es más que la impedancia PS del medio por donde se propaga la onda convertida. Este parámetro ha sido comúnmente usado como indicador de hidrocarburos, donde zonas con menor impedancia PS pueden estar asociadas a presencia de fluidos. Este tipo de inversión permitió obtener mejores resultados y corroborar algunos de los *leads* identificados durante la integración.

10. INTEGRACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROSPECTOS

Para el programa ANH REGIONAL TRASANDINA 4A se identificaron un total de trece (13) zonas de interés, distribuidas espacialmente en diferentes unidades sismo-estratigráficas interpretadas, presentan diversos tipos de trampas del sistema petrolero. Para la identificación y clasificación de las mismas se consideraron los siguientes criterios:

- Existencia de cierre estructural a nivel de mapas en las unidades objetivos.
- Estratigrafía y sedimentación asociado a los diferentes niveles de interés.
- Amplitud sísmica y comportamiento a nivel de atributos, tanto en el dominio PP como en el dominio de sísmica PS.

La jerarquización de las zonas más relevantes se basó principalmente en la búsqueda de las posibles mejores condiciones de acumulación, a partir de los *leads* definidos para la onda P. Sin embargo, en esta etapa se identificaron zonas de interés que, a pesar de no ser llamativas en las secciones PP, resaltan particularmente en las secciones PS.

Como se ha mencionado anteriormente, la línea transandina fue adquirida y comprende varias cuencas, la sección Córdoba-Antioquia posee información sísmica en las cuencas de Sinú San Jacinto y Valle Inferior del Magdalena. Mientras que la sección Bolívar-Santander cubre la parte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Los niveles objetivos de este trabajo dependen de la zona y cuenca que se está analizando, de esta forma en la cuenca de Sinú se consideran como principales objetivos las formaciones Pajuil, Floresanto y posiblemente Pavo. Más hacia el este de la sección Córdoba-Antioquia de la línea Transandina se encuentra la cuenca de San Jacinto y el principal objetivo que se definió fue la Fm. Cansona. En la cuenca del Valle Inferior del Magdalena se considera como principal objetivo la Fm. Ciénaga de Oro, sin embargo no se descarta un objetivo más somero asociado a la Fm. Porquero. Para la sección de Bolívar-Santander en la cuenca VMM se presentan dos (2) principales niveles objetivos, el primero cretácico, asociado a las formaciones Rosablanca, La Luna y Umir, mientras que otro nivel de interés corresponde a formaciones Paleocenas asociadas a la Fm. La Paz.

En la Tabla 5 se muestran los objetivos, tipo de trampa y área aproximada de cada uno de los *leads*, asimismo se muestra una cuarta columna de “evaluación”, a modo de semáforo que permite jerarquizar el *lead* con base en los siguientes criterios:

- Verde: Poseen menor incertidumbre y son los que se recomiendan como prioridades para futuros estudios y actividades exploratorias.
- Amarillo: La incertidumbre es ligeramente menor y están asociados a posibles trampas estratigráficas / estructurales o solamente estratigráficas pero con una correlación lateral de la geometría del cuerpo.
- Rojo: El grado de incertidumbre es mayor, son prospectos estratigráficos observados en una sola línea que no permiten ver cierre alrededor (4 direcciones).

La Figura 35 muestra el mapa base con las dos (2) secciones de la línea Transandina y la localización de los diferentes *leads*.

SECCION CORDOBA ANTIOQUIA

En la sección Córdoba-Antioquia se identificaron un total de nueve (9) zonas de interés o *leads*, de las cuales uno (1) fue identificado en la cuenca del Sinú, siete (7) en la cuenca del Valle Inferior del Magdalena y solo una (1) en la cuenca San Jacinto. En la sección Bolívar-Santander se identificaron cuatro (4) *leads* en la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Es importante resaltar que de los trece (13) *leads* identificados, solo cinco (5) de ellos presentan mayor oportunidad de ser prospectivos, con prioridad 1 en la integración entre la interpretación estructural, estratigráfica y de atributos.

En la Figura 36 se muestra el *lead* A2, el cual presenta un alto grado de incertidumbre y por lo tanto fue definido como no prioritario (color rojo en la Tabla 5). El nivel objetivo para este *lead* es la Fm. Cansona, caracterizada por zonas de bajas impedancias.

El *lead* A3 se muestra en la Figura 37 y se ubica en la cuenca de San Jacinto, el nivel objetivo corresponde a la Fm. Cansona (Unidad 1) caracterizada por zonas de bajas impedancias. La buena relación señal/ruido de esta zona permite identificar claramente las fallas asociadas a la trampa de este *lead*. Sin embargo, se recomienda adquirir nuevos datos sísmicos que permitan identificar un posible cierre estructural. Este *lead* presenta prioridad 2 (color amarillo en la Tabla 5).

En la Figura 38 se muestran los *leads* A4, A5, A6 y A7; todos ellos presentan buena respuesta en los atributos sísmicos con zonas de bajas impedancias, tanto PP como PS (Figuras 38 y 39). El *lead* A4 se destaca por presentar dos (2) niveles objetivos: La Fm Ciénaga de Oro y posiblemente la Fm Porquero; se podría considerar un tipo de trampa estructural y al igual que en todos los *leads* de este proyecto, se recomienda adquirir e interpretar nuevas líneas sísmicas en el área para identificar posibles cierres estructurales.

Tabla 5. Leads identificados en la línea Regional Transandina 4A.

NOMBRE	OBJETIVO	TIPO DE TRAMPA	CUENCA	ÁREA APROX	EVALUACIÓN
A2	Unidad 1 (Fm Cansona)	Estructural	Sinú	75 km ²	
A3	Unidad 1(Fm Cansona)	Estructural	San Jacinto	500 km ²	
A4	Fm Porquero y CDO (Ciénaga de Oro)	Estructural	VIM	370 km ²	
A5	Fm Ciénaga de Oro	Estructural -estratigráfica	VIM	225 km ²	
A6	Fm Ciénaga de Oro	Estructural -estratigráfica	VIM	225 km ²	
A7	Fm Ciénaga de Oro	Estructural -estratigráfica	VIM	310 km ²	
A8	Fm Ciénaga de Oro	Estructural -estratigráfica	VIM	215 km ²	
A9	Fm Ciénaga de Oro	Estructural -estratigráfica	VIM	165 km ²	
A10	Fm Ciénaga de Oro y posible Fm Porquero	Estructural -estratigráfica	VIM	465 km ²	
B1	Posible Fm. La Luna o Fm. Umir (?) y Fm La Paz (?)	Estructural	VMM	660 km ²	
B2	Posible Fm. Rosablanca (?)	Estructural-estratigráfica	VMM	635 km ²	
B3	Posible Fm. Rosablanca y Fm. Umir	Estructural -estratigráfica	VMM	600 km ²	
B4	Fm Umir y posible Fm La Paz	Estructural -estratigráfica	VMM	310 km ²	

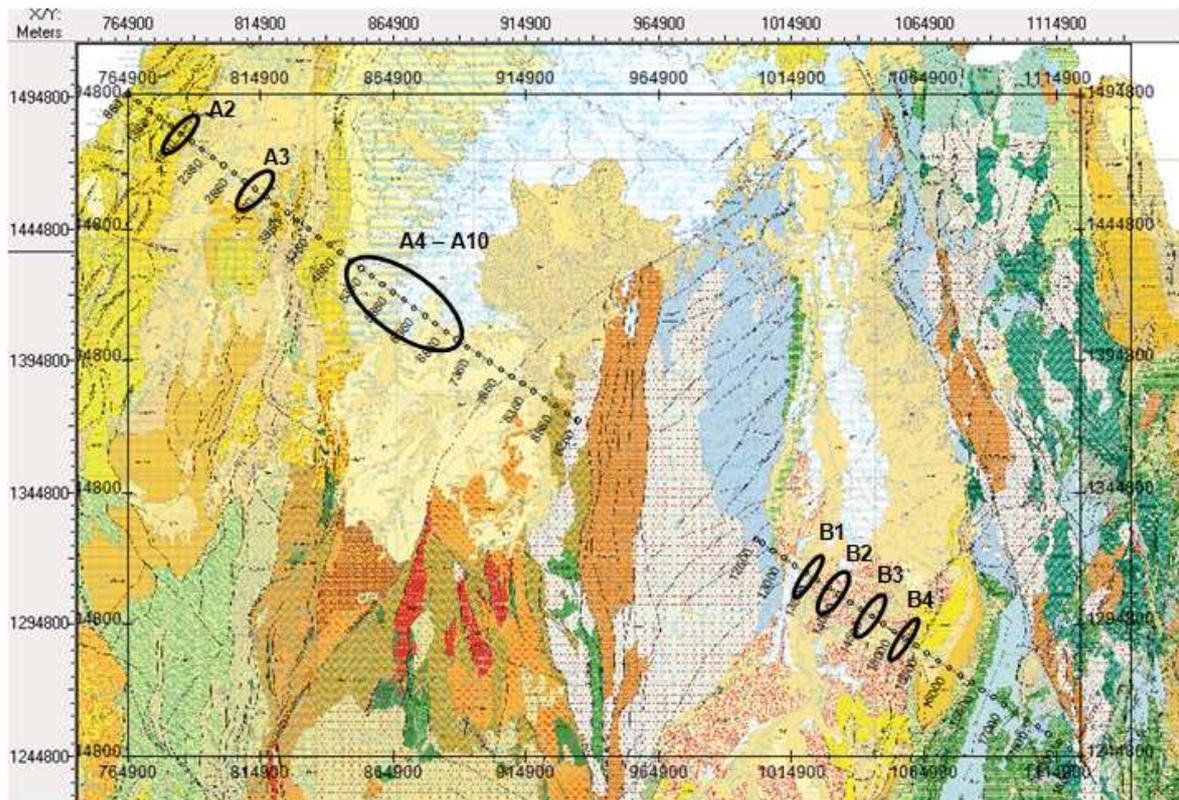


Figura 35. Mapa base de la zona de estudio y los Leads definidos en el presente trabajo.

Los *leads* A5, A6 y A7 solo presentan como nivel objetivo a la Fm Ciénaga de Oro y corresponden a una combinación de trampa estructural-estratigráfica, donde se observa claramente en todas estas zonas de interés las terminaciones contra el horizonte D3. Todos estos *leads* fueron considerados como prioridad 1 salvo el A7 por presentar menores espesores entre los horizontes D3 y D4, así como también por no observarse claramente las zonas de bajas impedancias.

En la Figura 40 se muestran los *leads* A8, A9 y A10; todos ellos presentan como nivel objetivo la Fm Ciénaga de Oro y el *lead* A10 presenta un segundo objetivo asociado a la Fm. Porquero. El *lead* A8 presenta un tipo de trampa muy similar al observado en los *leads* A5, A6 y A7, donde se observan pequeñas terminaciones contra el horizonte D3. En el caso de los *leads* A9 y A10, la componente estructural es mucho más importante y en futuros trabajos se debe analizar el posible cierre de los mismos.

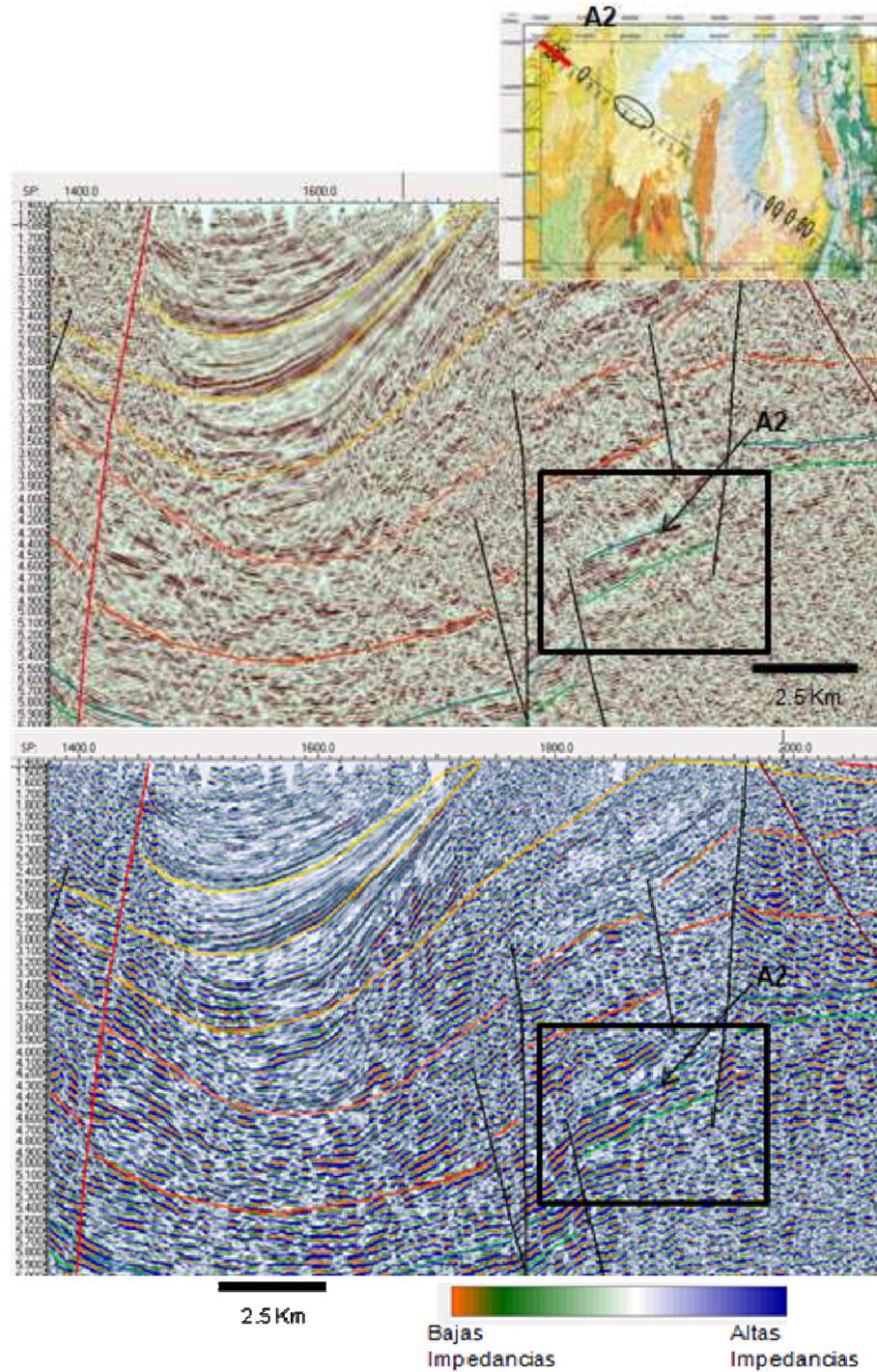


Figura 36. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando Lead A2.

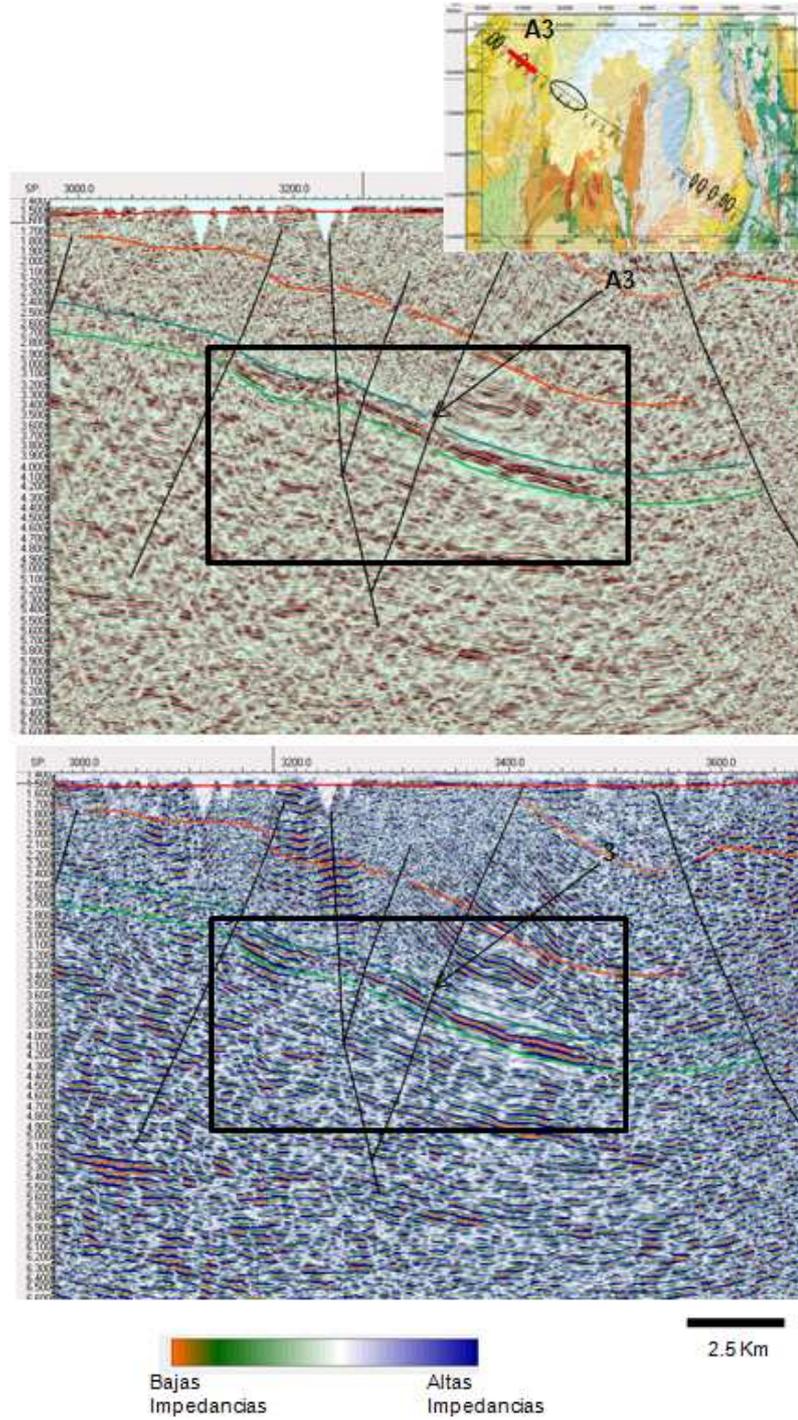


Figura 37. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando el *Lead* A3.

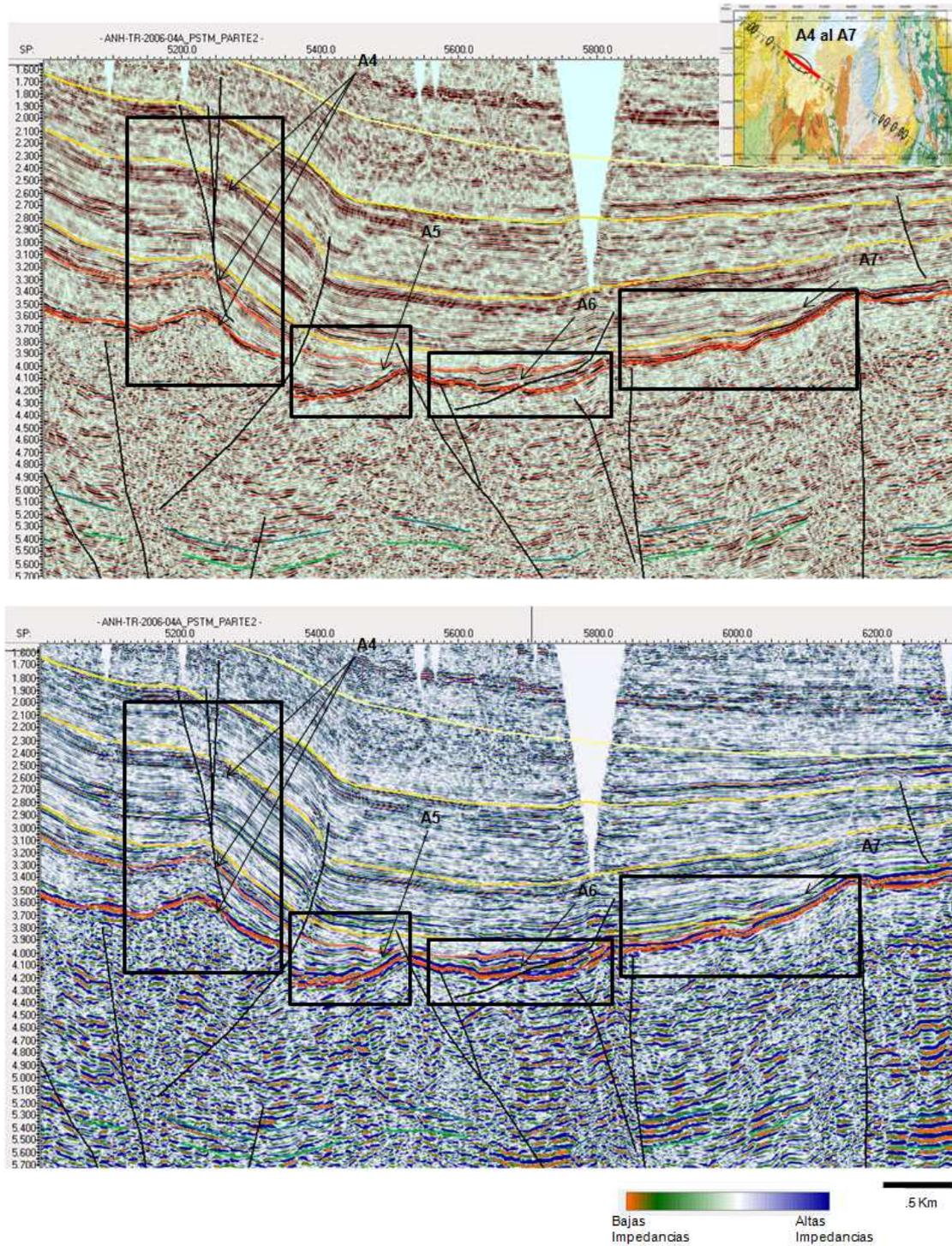


Figura 38. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads A4, A5, A6 y A7.

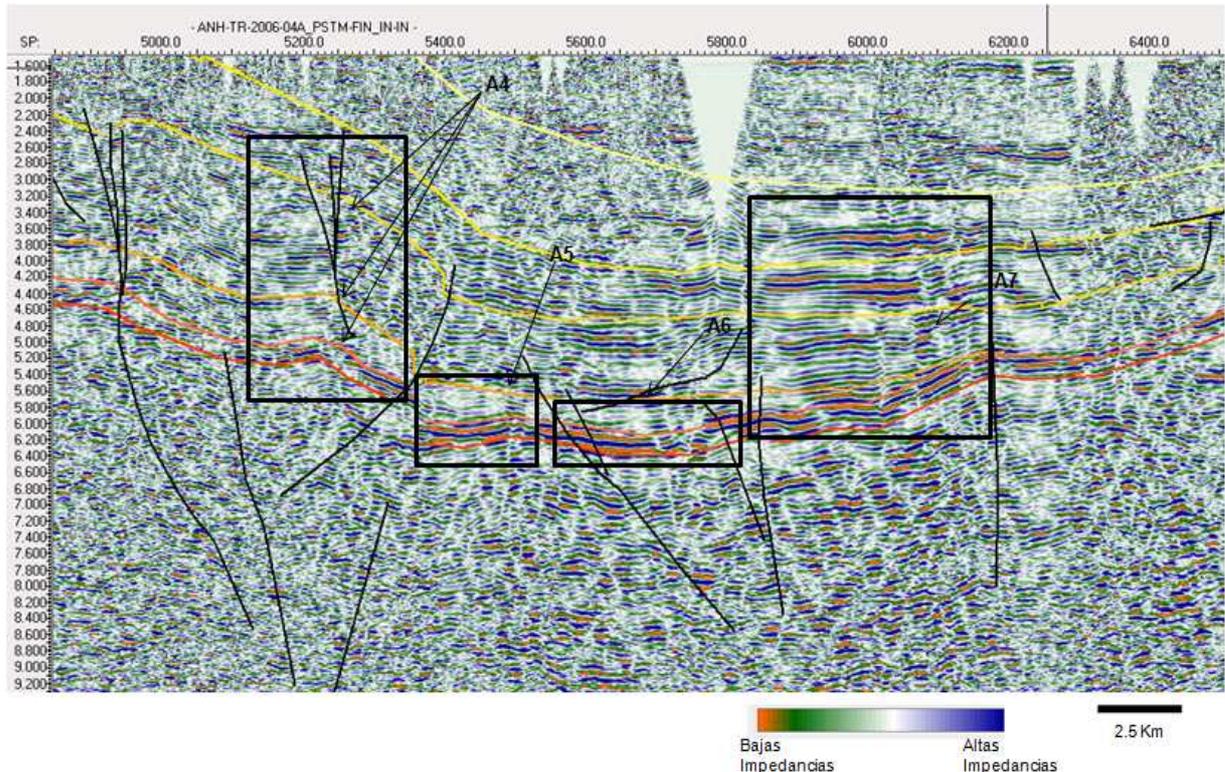


Figura 39. Perfiles de impedancia acústica PS mostrando los *Leads* A4, A5, A6 y A7.

SECCIÓN BOLÍVAR SANTANDER:

Los *leads* identificados en la sección Bolívar-Santander de la línea transandina se muestran en la Figura 40. Se resalta que los niveles objetivos principales de estos *leads* corresponden a secuencias cretácicas.

En la Figura 42 se muestran los perfiles de amplitud sísmica e impedancia acústica con los *leads* B1 y B2, el primero de ellos presenta como niveles objetivos las formaciones La Luna o Umir y la Fm. La Paz. Como se puede observar, el factor estructural es clave para la existencia de trampa. En el *lead* B2 el nivel objetivo corresponde a rocas más antiguas (posible Fm. Rosablanca) que presentan claras terminaciones contra la discordancia D3, y el tipo de trampa es combinada con un fuerte componente estratigráfico. Ambos *leads* (B1 y B2) presentan zonas de bajas impedancias, sin embargo las anomalías en el *lead* B1 son mucho más claras y numerosas.

El perfil de impedancia PS en la zona de los *leads* B1 y B2 se muestra en la Figura 43, se resalta la poca continuidad de las anomalías, la tendencia a estar más horizontalizadas que las observadas en la sísmica PP, a pesar de todo ello se observa que el *lead* B1 presenta un poco más claro las anomalías de baja impedancia PS que las asociadas al *lead* B2.

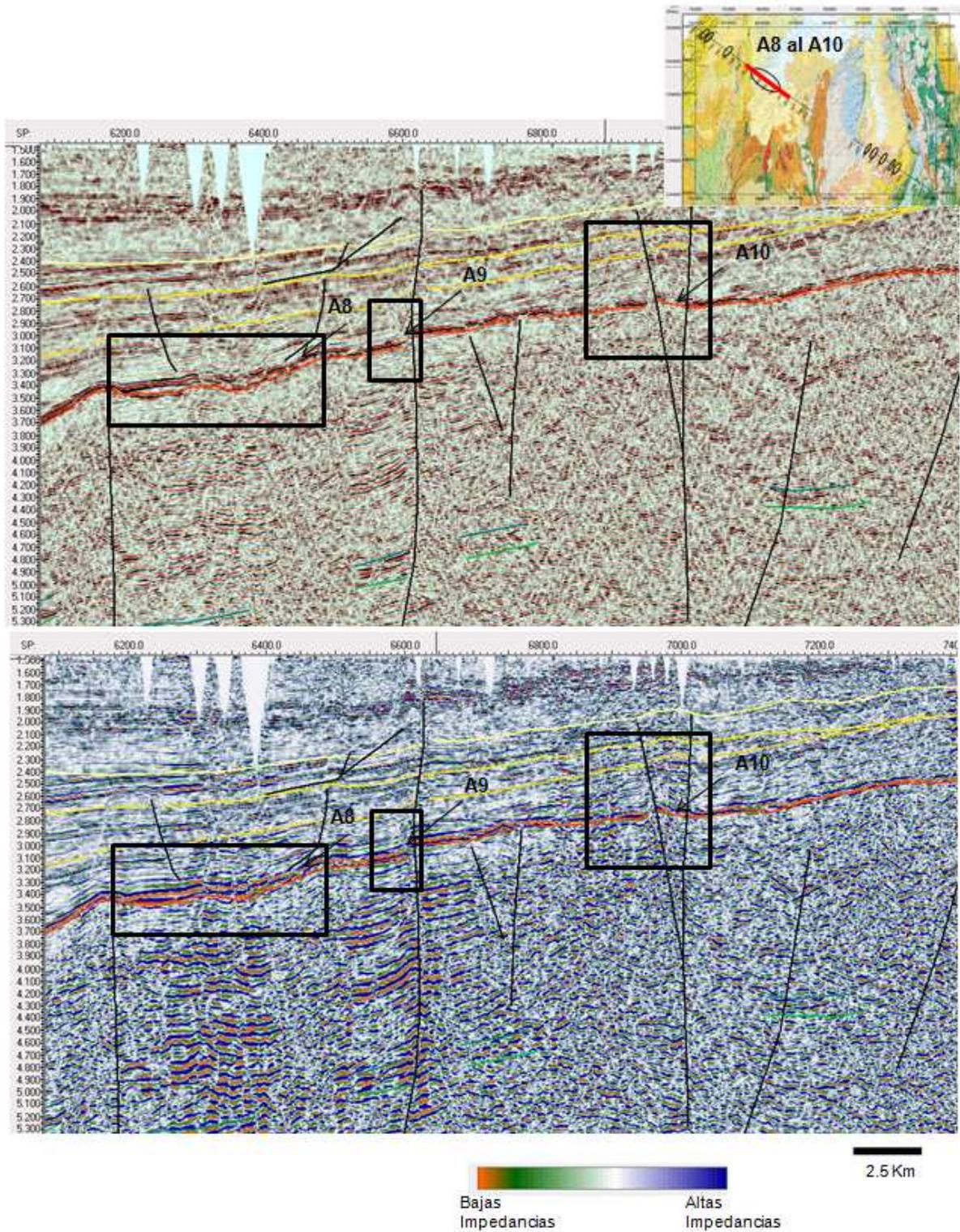


Figura 40. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads A8, A9 y A10.

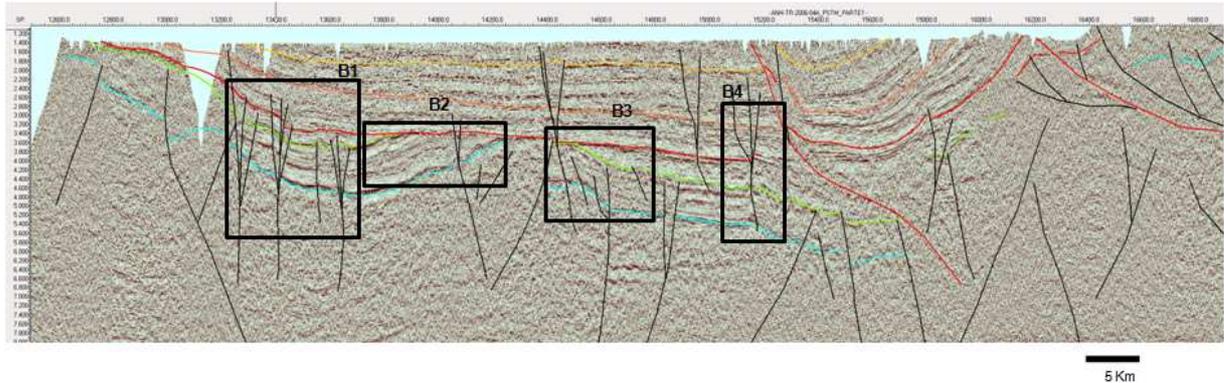


Figura 41. Sección Bolívar-Santander de la línea sísmica Transandina con los *leads* definidos en el presente trabajo.

El *lead* B3 presenta varios objetivos, el primero de ellos posiblemente asociado a la Fm Umir y/o La Luna, donde el tipo de trampa es principalmente estratigráfica caracterizada por terminaciones contra la discordancia D4, mientras que el segundo objetivo corresponde a rocas más antiguas asociadas a la Fm Rosablanca, donde la trampa estaría dominada por las fallas normales en el área. En el objetivo más somero, se pueden observar anomalías de bajas impedancia, lo cual aumenta el potencial del área, sin embargo en el objetivo más profundo, las anomalías son menos claras y presentan un ligero mayor riesgo (ver Figura 44).

Finalmente en la Figura 44 se muestra el *lead* B4, que presenta claras anomalías de bajas impedancia PP en los niveles asociados a Fm. Umir (o posiblemente la Luna) y a la Fm. La Paz (Paleoceno). Este *lead* está asociado a la fallas de alto buzamiento tipo reloj mostrada en esta Figura.

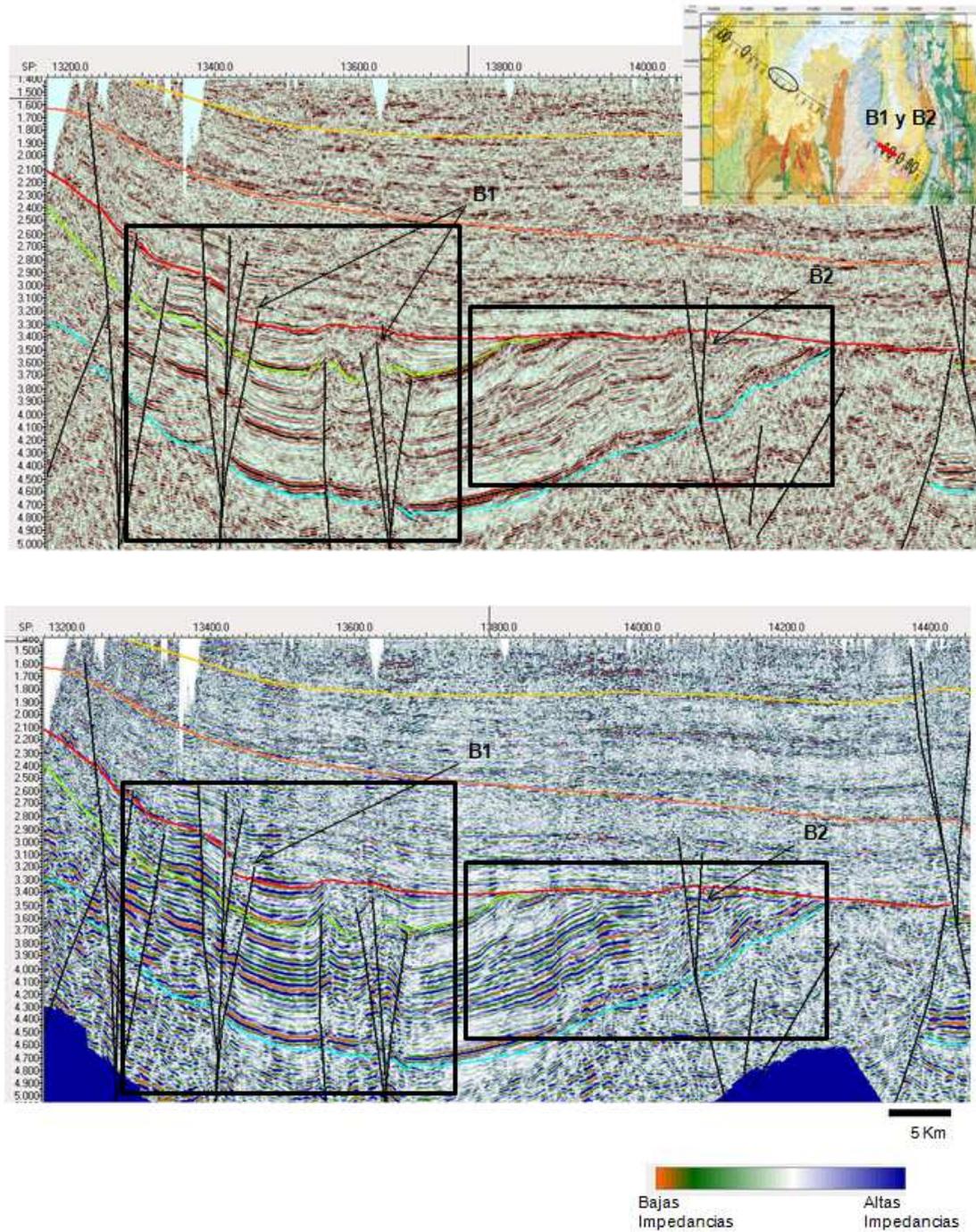


Figura 42. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads B1 y B2.

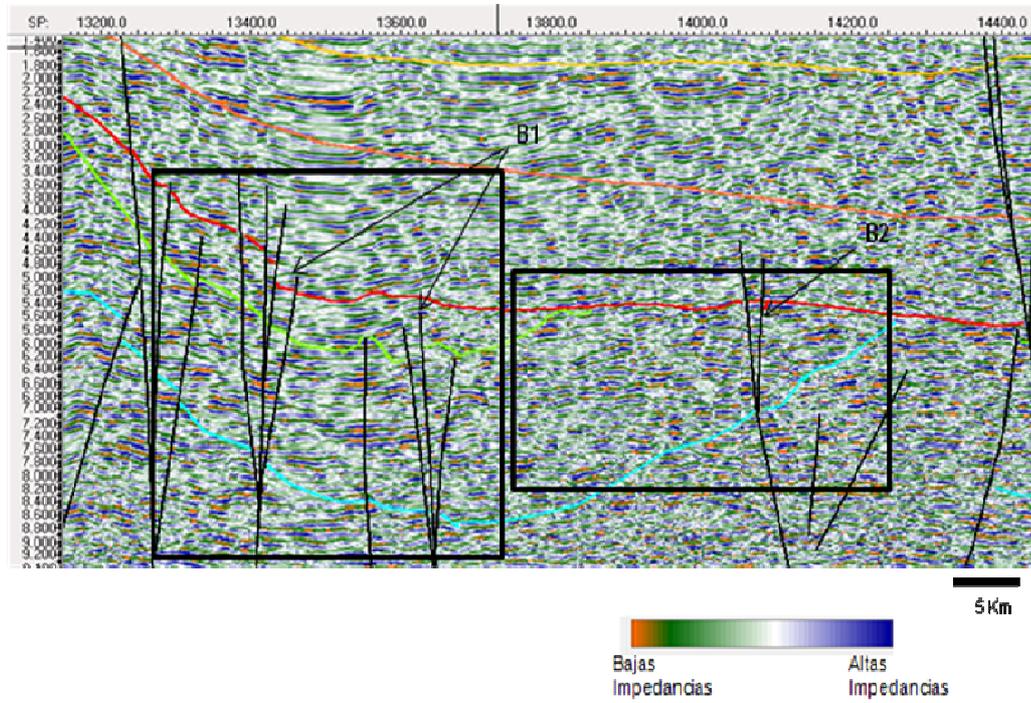


Figura 43. Perfil de impedancia PS mostrando los Leads B1 y B2.

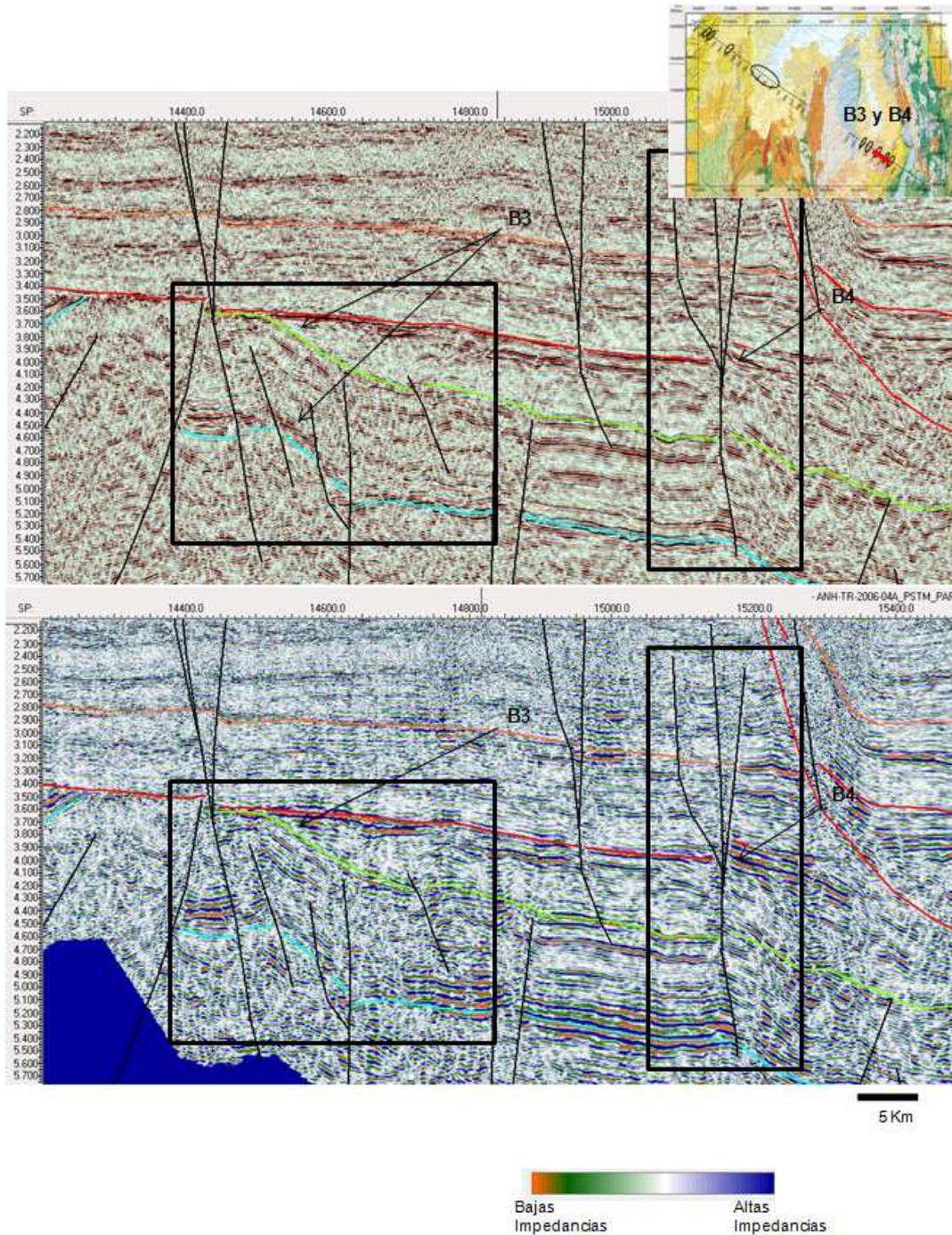


Figura 44. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads B3 y B4.

11. PRODUCTOS FINALES

SECCION CORDOBA-ANTIOQUIA

EN MEDIO DIGITAL:

- 01. Informe Final de Interpretación (DOC y PDF)
 - 01.1. Anexos (DOC y PDF)
 - 01.2. Presentación (PPT)
- 02. Mapas de Interpretación de Horizontes (PDF y ZMAP).
 - 02.1. Mapas de Interpretación de Horizontes PP (PDF y ZMAP).
 - 02.2. Mapas de Interpretación de Horizontes PS (PDF y ZMAP).
 - 02.3. Mapas de Leads (PDF y ZMAP).
- 03. Secciones Interpretadas (CGM).
 - 03.1. Secciones Interpretadas PP (CGM).
 - 03.2. Secciones Interpretadas PS (CGM).
- 04. Interpretación Sísmica PP y PS (ASCII).
 - 04.1. Horizontes (ASCII).
 - 04.2. Fallas (ASCII).
- 05. Archivos de mallados (ASCII).
- 06. Backup del proyecto.
- 07. Archivos SGY (SGY).

EN PAPEL: Un Informe y sus Anexos.

Informe Final de Interpretación.

ANEXO A1. Mapas Estructurales en Tiempo PP. Escala 1:200.000. Cantidad: cinco (5) mapas

ANEXO A2. Secciones Sísmicas PP. Escala 1:100.000. Cantidad: cuatro (4) partes

ANEXO A3. Mapas Estructurales en Tiempo PS. Escala 1:200.000. Cantidad: cinco (5) mapas

ANEXO A4. Secciones Sísmicas PS. Escala 1:100.000. Cantidad: cuatro (4) partes

ANEXO A5. Mapas de *Leads*. Escala 1:150.000. Cantidad: dos (2) mapas

SECCION BOLIVAR-SANTANDER

EN MEDIO DIGITAL:

01. Informe Final de Interpretación (DOC y PDF)
 - 01.1. Anexos (DOC y PDF)
 - 01.2. Presentación (PPT)
02. Mapas de Interpretación de Horizontes (PDF y ZMAP).
 - 02.1. Mapas de Interpretación de Horizontes PP (PDF y ZMAP).
 - 02.2. Mapas de Interpretación de Horizontes PS (PDF y ZMAP).
 - 02.3. Mapas de Leads (PDF y ZMAP).
03. Secciones Interpretadas (CGM).
 - 03.1. Secciones Interpretadas PP (CGM).
 - 03.2. Secciones Interpretadas PS (CGM).
04. Interpretación Sísmica PP y PS (ASCII).
 - 04.1. Horizontes (ASCII).
 - 04.2. Fallas (ASCII).
05. Archivos de mallados (ASCII).
06. Backup del proyecto.
07. Archivos SGY (SGY).

EN PAPEL: Un Informe y sus Anexos.

Informe Final de Interpretación.

ANEXO A1. Mapas Estructurales en Tiempo PP. Escala 1:200.000. Cantidad: cinco (5) mapas

ANEXO A2. Secciones Sísmicas PP. Escala 1:100.000. Cantidad: cuatro (4) partes

ANEXO A3. Mapas Estructurales en Tiempo PS. Escala 1:200.000. Cantidad: cinco (5) mapas

ANEXO A4. Secciones Sísmicas PS. Escala 1:100.000. Cantidad: cuatro (4) partes

ANEXO A5. Mapas de *Leads*. Escala 1:150.000. Cantidad: dos (2) mapas

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sección Córdoba-Antioquia:

Las principales estructuras del área de estudio mantienen una orientación NE-SE. Donde la sísmica muestra un fallamiento normal pre-Oligoceno?, con la misma orientación (NE-SE), sugiriendo una transpresión posterior. La cual reinvierte algunas estructuras desarrollando geometrías en Flor positiva. La reactivación de estas estructuras desarrollan dentro el CPS pequeñas sub-cuencas separadas por los fallas inversas de alto ángulo. Dichas cuencas evidencian depósitos contemporáneos a la sedimentación que han sido fragmentados y desplazados por fallas rumbo deslizante de dirección oeste-este.

La geometría de las sub-cuencas desarrolladas dentro del CPS, no son tan evidentes debido a que la sección sísmica no alcanza a ver completamente la región y la relación S/R es baja. No obstante, a grandes rasgos pareciera mantener un desarrollo en secuencia, con una dirección de deformación hacia el oeste. Mostrando que los depocentros se hacen más espesos hacia el sureste y más delgados y someros hacia el noroeste. Tal como Cerón et al. (2005) esquematizan la cuña acrecionaria de Sinú.

En relación al fallamiento identificado dentro del CPS, CPSJ y VIM, se observan esencialmente dos (2) familias de fallas:

1. Fallas normales, con orientación ~ N-S, a nivel de basamento asociadas a depósitos pre-oligocenos? Fallamiento que en algunos sectores refleja inversión positiva.
2. Fallamiento inverso de alto ángulo con vergencia hacia el oeste, asociado a la transpresión producto de los diferentes pulsos de deformación suscitados en el CPS y CPSJ.

La prospectividad en el área del área se puede separar en dos sectores CPS y VIM, sub cuenca de Plato y San Jorge. Donde el CPS está asociado a las unidades U3,U4 y U5, las cuales en los diferentes mapas mostrados no reflejan cierres estructurales en cuatro (4) direcciones. No obstante, algunas unidades se encuentran en los flancos de los pliegues asociados a diapirismo.

En relación a las estructuras y al fallamiento inverso del área, ésta se ve afectada por diapirismo de lodo, que si bien es cierto replantean la búsqueda hacia los flancos del anticlinal, evitando toparse con posibles zonas de diapiros, también es cierto que se asegura un sello estratigráfico.

Por otro lado la profundidad y baja resolución señal / ruido en el área del Sinú hace que se dificulte la correlación de los reflectores D1 al D3 dentro del área del CPS.

Sección Bolívar-Santander:

Las principales estructuras del área de estudio mantienen una orientación NE-SE. Donde la sísmica muestra un fallamiento normal pre-Jurásico Tardío?, con la misma orientación (NE-SE) sugiriendo una reactivación positiva con vergencia hacia el Este. La cual reinvierte algunas estructuras desarrollando geometrías en Flor positiva, y fallas inversas de alto ángulo. En contra sentido se observan fallas inversas de ángulo bajo con vergencia hacia el oeste, que desarrollan una zona triangular entre la Falla La Tigra y la Falla Suarez.

A partir de este estudio se identificaron trece (13) *leads*, donde solo cinco (5) de ellos presentan mayor oportunidad de ser prospectivos, con prioridad 1 en la integración entre la interpretación estructural, estratigráfica y de atributos. Ubicados principalmente en la cuenca del Valle Inferior del Magdalena. Se resalta la gran importancia de los perfiles de impedancia calculados para disminuir la incertidumbre asociada a las zonas de interés identificadas en el área de estudio.



Considerando que la información sísmica utilizada en este proyecto es regional, se recomienda incorporar información sísmica adicional e información de pozos para integrarlos con los resultados presentados en este trabajo.

13. REFERENCIAS

- ADDISON, F., ALVAREZ, R., COOPER, M., HAYWARD, A., HOWE, S., PULHAM, A. y TABORDA, A. (1995). *Basin development and tectonic history of the Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia*. AAPG Bulletin, Vol. 79, pp. 1.421-1.443.
- ANH. (2006a). *Compilación Análisis y Evaluación de Información Existente*. Bogotá, Colombia.
- ANH. (2006b). *Informe final Sinú-San Jacinto 2D 2005*. Bogotá, Colombia.
- BUHELLI, F., CÓRDOBA, F., ROLÓN, L. y SUÁREZ, M. (2000). *Provincia Petrolífera del Valle Medio de Magdalena, Colombia*. VII simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas, Caracas.
- CARO, M. y REY, C. (2009). *Principales características geológicas de la subcuenca del Sinú a partir de interpretación sísmica*. Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena, Colombia.
- CERÓN, J., KELLOGG, J. y TOTO, E. (2005). *Structure and Tectonics of the Sinú – San Jacinto Accretionary Prism in the Northern Colombia*.
- COVEY, M. y DENGGO, C. (1993). *Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for trap styles and regional tectonics*. AAPG Bulletin, Vol. 77, pp. 1.315-1.337.
- DUQUE-CARO, H. (1984). *Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecionamiento del terreno Sinú-San Jacinto en el Noroccidente de Colombia*. En: Boletín Geológico. Vol. 27, Nº 2, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- DÍAZ, A., GUERRERO, E. y REY, C. (2009). *Proyecto Geofísico “Línea Regional Trasandina” en el Norte de Suramérica*. X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena, Colombia.
- DRAKE, C. y PINDELL, J. Eds. (1988). *Paleogeographic Evolution and Non-glacial Eustasy, northern South America*. SEPM Special Publication.
- ETAYO, F., BARRERO, D. y RENZONI, G. (1969). *Contornos Sucesivos del mar Cretáceo en Colombia*. Memoria 1er. Congreso Colombiano de Geología. Universidad Nacional de Colombia, pp. 217-252.
- FABRE, A. (1985). *Dinámica de la sedimentación en la región de la Sierra Nevada del Cocuy, Cordillera Oriental de Colombia*. ETAYO-SERNA, F. y LAVERDE, F. Eds., *Contribuciones del Proyecto Cretácico*. Publ. Geol. Especiales del Ingeominas. Nº 16, pp. XIX 1-XIX 20. Bogotá.
- FLINCH, J. (2003). *Structural Evolution of the Sinú-Lower Magdalena Area (Northern Colombia)*. BARTOLINI, R., BLICKWEDE, J. y BUFFLER, T., Eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. AAPG Memoir, Vol. 79, pp. 776–796.
- GONZÁLEZ J., MONTILLA M. y REYES, J. (2000). *Regiones Tectono-sedimentarias del Valle Inferior del Magdalena, Colombia*. Memorias VII Simposio Bolivariano de Exploración en Cuencas Subandinas. Sociedad Venezolana de Geólogos, pp. 310-333.
- HERNÁNDEZ, O. (2009). *Cartografía geológica y modelado estructural de las Cuencas de Urabá y Sinú San Jacinto a partir de la interpretación de imágenes de sensores remotos y monitoreo sísmico*. Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-. Bogotá, Colombia.

- HERNÁNDEZ, O. y JARAMILLO, J. (2009). *Reconstrucción de la historia termal en los sectores de Luruaco y Cerro Cansona – Cuenca del Sinú-San Jacinto y en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá entre Codazzi y La Jagua Ibirico – Cuenca de Cesar-Ranchería*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- HILTERMAN, F. (2001). *Seismic Amplitude Interpretation, 2001 Distinguished Instructor Short Course*, Distinguished Instructor Series, No. 4, Soc. Expl. Geophys.
- INGEOMINAS. (2007). *Mapa Geológico de Superficie de Colombia, Escala. 1:500.000*.
- JIMÉNEZ, D. (2008). *Intención de perforar mediante campaña de pozos someros (tipo “slim hole”) a lo largo de la línea sísmica trasandina*. Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-. Bogotá, Colombia.
- OSORNO, J. (2008). *Intención de perforar mediante campaña de pozos someros (tipo “slim hole”) en la cuenca Sinú-San Jacinto*. Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-. Bogotá, Colombia.
- ROLÓN, L. (2004). *Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin – Colombia*. Msc Thesis, West Virginia University.
- SANDWELL, D. y SMITH, W. (1997). *Seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings*: Science, Vol. 277, pp. 1957-1962.
- SUÁREZ, M. (1996). *Facies analysis of the Upper Eocene La Paz Formation and regional evaluation of the post - Middle Eocene stratigraphy, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia*. MSc. Thesis, University of Colorado, Boulder.
- SUÁREZ, L. (2009). *Estudio Geofísico Integrado en la subcuenca de Plato, VIM*. Tesis de MsC.