



INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN SÍSMICA COMPONENTE HORIZONTAL Y VERTICAL

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



Programa: SINÚ SUR 2D 2008
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	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. OBJETIVOS.....	7
4. ALCANCES DEL ESTUDIO.....	7
5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
6. GEOLOGÍA REGIONAL	10
6.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL.....	10
6.2 GEOLOGÍA DEL CINTURÓN PLEGADO DE SINÚ.....	11
6.3 SISTEMA PETROLERO.....	12
7. CALIDAD DEL DATO SÍSMICO	13
8. INTERPRETACIÓN.....	17
8.1 ANTECEDENTES	17
8.2 BASE DE DATOS Y CALIBRACIÓN.....	19
8.2.1 Información de Pozos	19
8.2.2 Calibración Sísmica - Pozo.....	21
8.2.3 Columnas Estratigráficas.....	23
8.2.4 Mapas Geológicos de Superficie.....	23
8.2.5 Horizontes Interpretados	25
8.3 INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA Y ESTILOS ESTRUCTURALES.....	26
8.3.1 Interpretación Sismo-Estratigráfica.....	26
8.3.2 Estilos Estructurales Definidos.....	38
8.3.3 Diferentes Dominios Tectónicos del Programa Sinú Sur 2D 2008.....	40
8.3.4 Observaciones Importantes de los Horizontes y Unidades Sísmicas.....	40
9. SÍSMICA MULTICOMPONENTE.....	41
9.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA PS.....	41
9.2 INVERSIÓN ACÚSTICA P.....	45
9.3 INVERSIÓN SÍSMICA MULTICOMPONENTE (ZP, D).....	47
9.4 INVERSIÓN CONJUNTA DE ONDA CONVERTIDA.....	47
9.5 INVERSIÓN ACÚSTICA DE ONDA CONVERTIDA.....	48
10. INTEGRACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROSPECTOS	49
11. PRODUCTOS FINALES	64
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
13. REFERENCIAS.....	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL PROGRAMA SINÚ SUR 2D 2008.....	8
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROGRAMA SINÚ SUR 2D 2008.....	9
FIGURA 3. UBICACIÓN CUENCA DEL SINÚ, MOSTRANDO EL ÁREA DEL PROGRAMA SÍSMICO.	10
FIGURA 4. ESPECTROS DE AMPLITUD DE LAS SECCIONES SÍSMICAS ANH-SS-08-01_PSTM_IN-IN (ARRIBA) Y ANH-SS-2008-01_PSTM_ONDA_CONV (ABAJO).	13
FIGURA 5. LÍNEA ANH-SS-08-01 PP (ARRIBA) Y PS (ABAJO) DE SINÚ SUR 2D 2008 MIGRADA PRE-APILADO EN TIEMPO	15
FIGURA 6. LÍNEA ANH-SS-08-08 PP (ARRIBA) Y PS (ABAJO) DE SINÚ SUR 2D 2008 MIGRADA PRE-APILADO EN TIEMPO	16
FIGURA 7. ESQUEMATIZACIÓN DE LA CUÑA ACREACIONARIA DE SINÚ, EN LA CUAL SE PUEDE OBSERVAR LA DIRECCIÓN DE LA DEFORMACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	17
FIGURA 8. SECCIÓN SÍSMICA QUE REPRESENTA LAS 4 SECUENCIAS IDENTIFICADAS POR REY Y RUBIANO.....	17
FIGURA 9. SECCIÓN SÍSMICA EN LA CUAL SE MUESTRA EL MODELO SÍSMICO – ESTRUCTURAL INTERPRETADO POR CARO Y REY... ..	18
FIGURA 10. SECCIÓN SÍSMICA INTERPRETADA, EN LA CUAL SE PUEDE OBSERVAR LAS TRAMPAS ESTRUCTURALES (ELIPSES AMARILLAS) INTERPRETADAS POR CARO Y REY PARA EL ÁREA DE SINÚ.....	19
FIGURA 11. MAPA UBICACIÓN DE POZOS CON RESPECTO A LAS LÍNEAS SÍSMICAS PERTENECIENTES A SINÚ SUR 2D 2008.20	
FIGURA 12. LOCALIZACIÓN DEL POZO ARBOLETES RESPECTO A LA LÍNEA 1 Y 6 DE SINÚ SUR 2D 2008 PARA LA CALIBRACIÓN SÍSMICA-POZO.....	21
FIGURA 13. CORRELACIÓN SÍSMICA-POZO DE ARBOLETES 1 CON LA LÍNEA SÍSMICA ANHSS-2008-01_PSTM-IN-IN DE SINÚ.....	22
FIGURA 14. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PARA SINÚ SUR 2D 2008.....	23
FIGURA 15. LÍNEAS SÍSMICAS PERTENECIENTES AL LEVANTAMIENTO SINÚ SUR 2D 2008 SOBRE EL MAPA GEOLÓGICO DE COLOMBIA (INGEOMINAS, 2007).. ..	24
FIGURA 16. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE HORIZONTES Y UNIDADES INTERPRETADAS EN EL ÁREA DEL SINÚ.. ..	26
FIGURA 17. DEFINICIÓN DE HORIZONTE SOBRE LÍNEA ANH-SS-2008-06.....	28
FIGURA 18. ZOOM DE HORIZONTE SOBRE LÍNEA ANH-SS-2008-06.	29
FIGURA 19. MAPA DEL HORIZONTE D4.....	30
FIGURA 20. MAPA DEL HORIZONTE D5.....	31
FIGURA 21. MAPA DEL HORIZONTE D6.....	32
FIGURA 22. MAPA DEL HORIZONTE D7.....	33
FIGURA 23. MAPA DEL HORIZONTE D8.....	34
FIGURA 24. <i>FLATTEN</i> DE LOS HORIZONTES D6 Y D7, CPS	37
FIGURA 25. RESUMEN DE LAS UNIDADES SISMOESTRATIGRÁFICAS.	38
FIGURA 26. ESTILOS ESTRUCTURALES Y GEOMETRÍAS DE SUB-CUENCAS DENTRO DEL CPS.	39
FIGURA 27. GRÁFICO CRUZADO DE TWTP Vs. TWTs	41
FIGURA 28. ELIMINACIÓN DE REFLEXIONES FUERA DEL PLANO PARA LA ONDA P (CIRCULO AZUL).. ..	43
FIGURA 29. RELACIONES S/R COMPLEMENTARIAS (RECTÁNGULO AZUL).	44
FIGURA 30. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA INVERSIÓN ACÚSTICA BASADA EN UN MODELO.	46

FIGURA 31. MODELO INICIAL DE IMPEDANCIA ACÚSTICA UTILIZADO PARA LA INVERSIÓN ACÚSTICA DE LA LÍNEA 1 DE SINÚ SUR 2D 2008	46
FIGURA 32. PROPAGACIÓN DE ONDA PP Y ONDA CONVERTIDA (PS).....	47
FIGURA 33. MAPA BASE MOSTRANDO LAS LÍNEAS SÍSMICAS DISPONIBLES DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LOS LEADS DEFINIDOS EN EL PRESENTE TRABAJO	51
FIGURA 34. MAPA DEL HORIZONTE D5 (BASE FM. FLORESANTO?) CON LOS LEADS SUPERPUESTOS IDENTIFICADOS EN ESTE NIVEL.....	52
FIGURA 35. MAPA DEL HORIZONTE D5 (BASE DE FM. FLORESANTO?) CON LOS LEADS SUPERPUESTOS IDENTIFICADOS EN ESTE NIVEL.....	53
FIGURA 36. MAPA DEL HORIZONTE D6(BASE FM. PAUJIL?) CON LOS LEADS SUPERPUESTOS IDENTIFICADOS EN ESTE NIVEL.....	54
FIGURA 37. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS LEADS A2 Y A4.	55
FIGURA 38. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS LEADS B1.....	57
FIGURA 39. PROSPECTO B1 VISTO EN LA SECCIÓN PS	58
FIGURA 40. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO LOS LEADS A7 Y A8.	59
FIGURA 41. ANOMALÍAS DE AMPLITUD EN LA SECCIÓN PS E IMPEDANCIAS BAJAS CONTRA LA FALLA.	60
FIGURA 42. PERFILES DE AMPLITUD SÍSMICA (ARRIBA) E IMPEDANCIA ACÚSTICA (ABAJO) MOSTRANDO EL LEAD C1.....	62
FIGURA 43. ZONA DE INTERÉS CERCANA AL PROSPECTO C1	63

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS POZOS PERTENECIENTES A SINÚ SUR 2d 2008 .	20
TABLA 2. RELACIÓN DE REGISTROS PARA LOS POZOS PERTENECIENTES A SINÚ SUR 2d 2008.	20
TABLA 3. TOPES FORMACIONALES CON CORRELACIÓN DE EDADES PARA EL POZO ARBOLETES-1X.	21
TABLA 4. HORIZONTES INTERPRETADOS Y SU CORRESPONDENCIA ESTRATIGRÁFICA Y TECTÓNICA .	35
TABLA 5. <i>LEADS</i> IDENTIFICADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO SINÚ SUR 2d 2008	50

1. RESUMEN EJECUTIVO

Nombre del servicio:	Interpretación de Datos Sísmicos.
Proyecto:	SINÚ SUR 2D 2008 317,50 km.
Cuenca:	Sinú San Jacinto.
Datos Interpretados:	PSTM Componente Vertical. PSTM Componente Horizontal.
Fecha de Interpretación:	Agosto de 2011.
Compañía:	PetroSeis Ltda.
Responsables:	
Por PETROSEIS:	Enrique García. Gerente General.
Por IGS:	Jesús Sierra. Control de Calidad del Procesamiento. Marlene Bonilla. Gerente de Proyecto. Crelia Padrón. Intérprete Senior. Wanda Gebbia. Geofísico Analista. William Marin. Geofísico Analista.
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 Sinú Sur 2D 2008, en la Cuenca Sinú San Jacinto, Colombia.

El programa Sinú Sur 2D 2008 es un levantamiento 2D adquirido en el año 2008 en la cuenca del Sinú San Jacinto. Geográficamente se encuentra ubicado en el municipio de San Pedro de Urabá, departamento de Antioquia y fue realizado para la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH. Consiste en cuatro (4) líneas y cuenta con un total de 12.700 disparos y un total de 317,50 kilómetros.

El informe muestra los resultados de la interpretación conjunta PP y PS, donde se cartografiaron cinco (5) horizontes (discordancias) y se definen 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 Sinú Sur 2D 2008 – 317,50 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 Sinú Sur 2D 2008 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 (onda convertida). 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 PP y PS.
- **Interpretación conjunta PP y PS:** interpretación estructural de secciones de onda P y onda S en tiempo, interpretación sísmo – estratigráfica de los límites de secuencias sísmicas asociados a topes de formaciones y horizontes sísmicos de interés prospectivo y definición de los estilos estructurales en el área de estudio.
- **Integración:** Interpretación integrada usando resultados de la interpretación estructural y de la inversión sísmica multicomponente para identificar posibles oportunidades.
- **Leads:** Identificación, localización, descripción y clasificación de los diferentes prospectos.

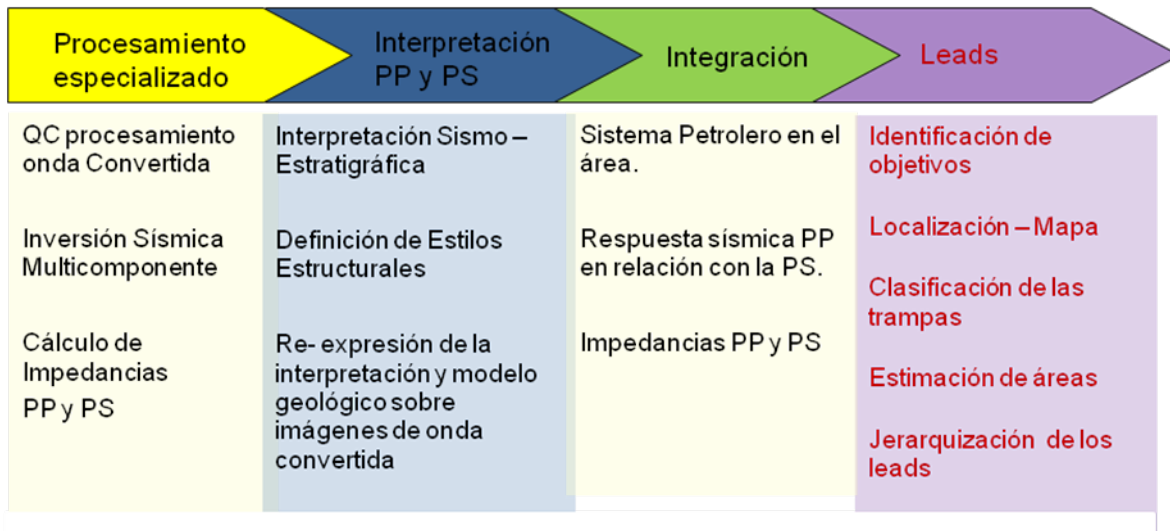


Figura 1. Actividades realizadas para el programa Sinú Sur 2D 2008.

5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El programa Sinú Sur 2D 2008 se encuentra ubicado en la Cuenca Sinú San Jacinto, específicamente sobre el Cinturón Plegado del Sinú (CS), limitado al oeste por la Cuenca Costa Afuera del Sinú y al este por el Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ).

Este programa, situado en la parte norte del departamento de Antioquia, cuenta con cuatro (4) líneas regionales, tres (3) paralelas en dirección NW-SE y la cuarta en la dirección ortogonal, ver Figura 2.

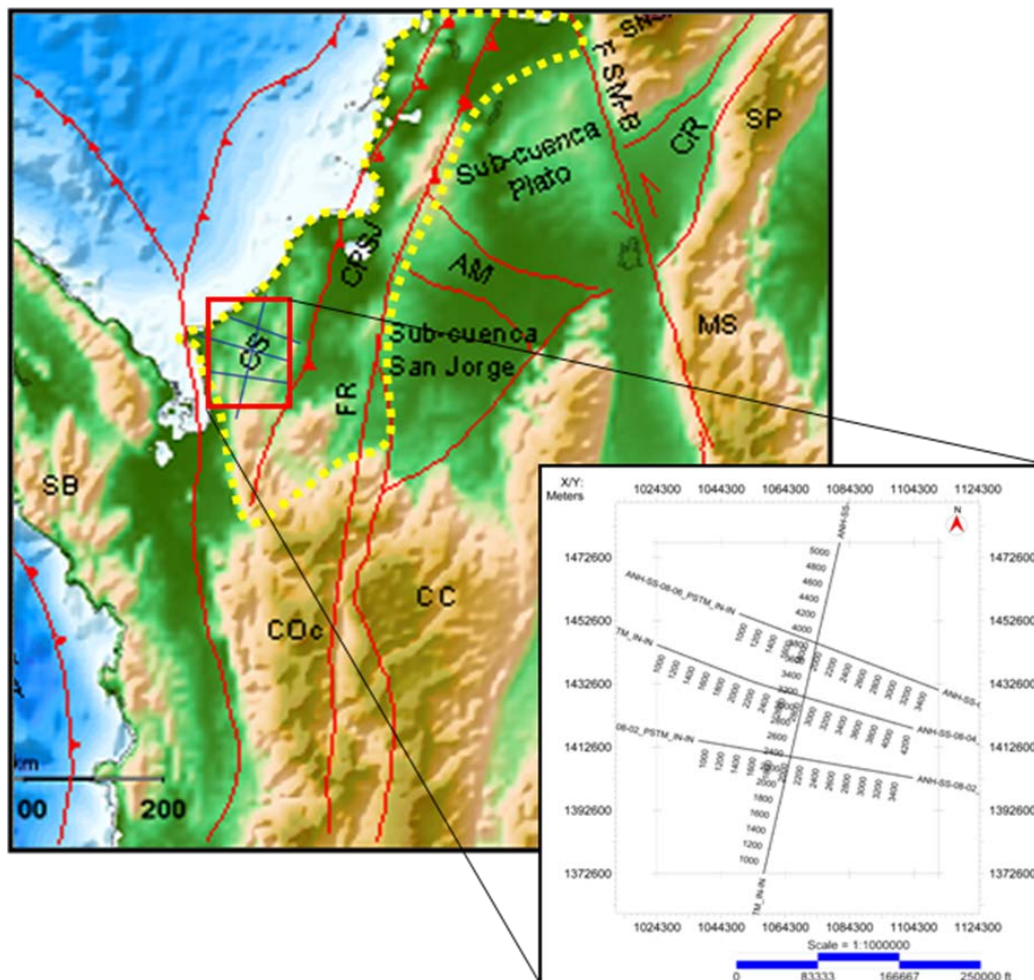


Figura 2. Ubicación geográfica del programa Sinú Sur 2D 2008. Datos topográficos y batimétricos de Sandwell y Smith (1997). Cuenca Sinú San Jacinto, conformada por el Cinturón del Sinú (CS) al oeste y el Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) al este, separados por el Lineamiento del Sinú. El programa Sinú Sur 2D 2008 se encuentra en la Cinturón del Sinú (CS), limitada al oeste por la Cuenca Costa Afuera del Sinú y al este por la falla del Sinú y el CPSJ. Tomado de Suárez (2009).

6. GEOLOGÍA REGIONAL

6.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

El programa sísmico Sinú Sur 2D 2008, se enmarca en el contexto tectónico del borde de placas Caribe-Suramérica (Figura 3). La 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 del 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.

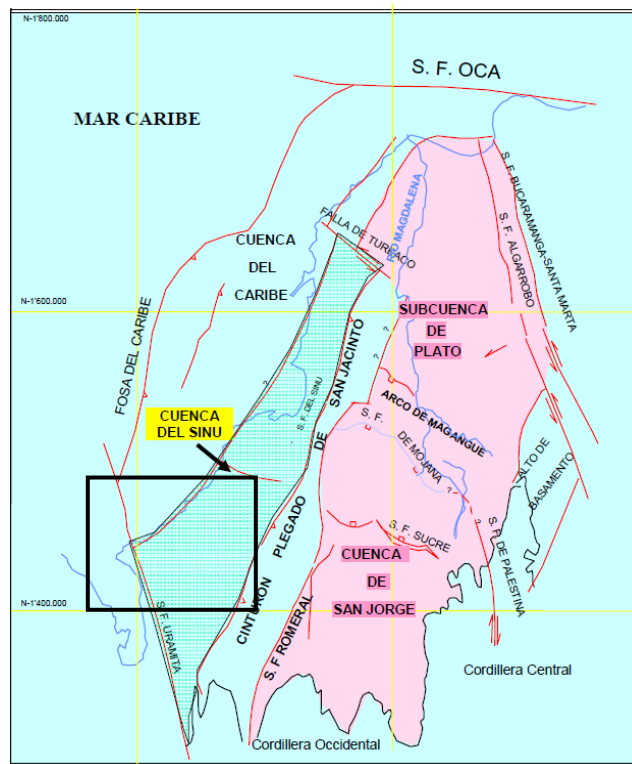


Figura 3. Ubicación Cuenca del Sinú, mostrando el área del programa sísmico.

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 corresponde 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 volcánico-clásticas 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, pero pudiendo diferenciarse en: Cinturón Plegado de Sinú (CPS) y Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ).

6.2 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 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, el CPS es definido como tal a partir del Mioceno, como consecuencia del cierre del arco de Panamá.

Sin embargo, previo a este evento el margen oeste de Suramérica se mantuvo afectado por una serie de episodios tectono-estratigráficos que afectan el CPS y se resumen a continuación.

- **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 generando 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 el este, por lo que el vulcanismo de lodo es aun activo en esta etapa (Hernández, 2009).

6.3 SISTEMA PETROLERO

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, 2006), 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 diferencia en roca fuente, migración, maduración, entre otros factores.

Caro y Rey (2009) mencionan que la Fm. Cansona no se ha presentado como roca fuente en el área del Sinú, viendo la necesidad de apoyarse en rocas del Cenozoico como la Fm Maralú. Por otro lado, la misma autora coloca a las principales rocas reservorio a los niveles arenosos de las formaciones Pavo, Floresanto, Pajuil y Manantial. Entre las rocas reservorio propuestas en los informes de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, se mencionan aquellos depósitos calcáreos y clásticos, arenas y conglomerados de la formación San Cayetano que presentan porosidades entre 3 y 24%, rocas del Mioceno medio a tardío como las formaciones Porquero Superior, Floresanto Pavo y Tubará.

Un muestreo y análisis de roca realizado por Geoandes en el año 2000, indican que en la Cuenca del Sinú existen niveles factibles de reservorio correspondientes a arenas paleocenas y oligocenas (Fm. San Cayetano, El Floral y Ciénega de Oro) por datos de porosidad, aunque poseen baja permeabilidad (ANH, 2006).

Las trampas y sellos corresponden 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 Floresanto.

7. CALIDAD DEL DATO SÍSMICO

Este programa consiste en cuatro (4) líneas que representan un total de 317,5 km de longitud de información sísmica. Las líneas este-oeste poseen una longitud promedio de 73 km y la línea norte-sur posee una longitud de 107,72 km.

En la fase previa a este estudio de interpretación e identificación de *leads* se llevó a cabo el procesamiento de la onda convertida de todas las líneas sísmicas de la zona Sinú Sur 2D 2008 por Petroseis Ltda (2011). La secuencia de procesamiento incluyó una migración pre-apilamiento en tiempo basada en Kirchoff para la onda convertida, con el principal objetivo de obtener una imagen sísmica con una buena definición de reflectores y ubicación de las estructuras observadas. Adicionalmente para la interpretación e identificación de *leads* se contó con las mismas líneas sísmicas, en el dominio PP, migradas en tiempo pre-apilado por PetroSeis, año 2009.

Los eventos se pueden distinguir en ambas secciones, con la salvedad de que los tiempos de arribo para los mismos eventos son diferentes; lo que da origen a cierto grado de distorsión al comparar ambas secciones. Los 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 y en algunas ocasiones ambas secciones se complementan ayudando en la delineación de los eventos. La Figura 4 muestra el espectro de frecuencia de la línea ANH-SS-08-01_PSTM (onda compresiva y convertida); en esta Figura 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.

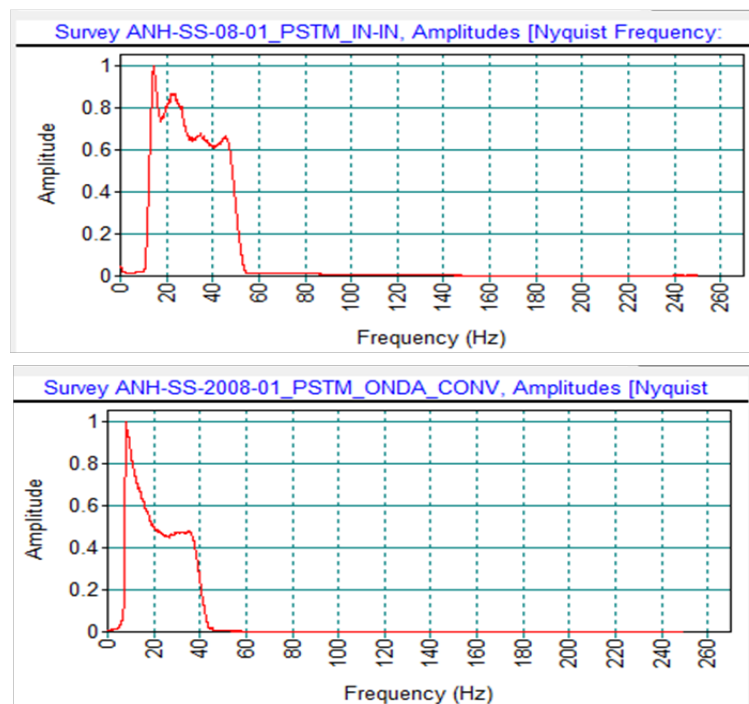


Figura 4. Espectros de amplitud de las secciones sísmicas ANH-SS-08-01_PSTM_IN-IN (arriba) y ANH-SS-2008-01_PSTM_ONDA_CONV (abajo).

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. Mediante la combinación de ambas secciones, se pudieron identificar terminaciones estratigráficas, pliegues y estructuras falladas. Al evaluar ambas secciones, se puede observar que la sección de onda P muestra la continuidad lateral de los eventos, pero la sección de onda convertida es capaz de resolver mayores niveles de estratificación. Asimismo, se pudo observar que la sección de onda P exhibe información para tiempos superiores a los 7,5 segundos, mientras que la sección de onda convertida no logra resolver para una profundidad mayor.

En la Figura 5 se muestran los perfiles PP y PS migrados pre-apilamiento correspondientes a la línea ANH-SS-08-01 de Sinú Sur 2D 2008. Resaltan dos (2) observaciones bastante claras: La sección PP presenta mejor relación señal-ruido que la sección PS, mientras que el contenido de frecuencia de la sección PP es mayor que el de la sección PS. Se considera que la baja relación señal-ruido de la sección PS está más asociada al proceso de adquisición y QC en campo que a la fase de procesamiento, en futuros proyectos de adquisición de onda convertida se recomienda un análisis exhaustivo de diseño y QC de campo.

A pesar de las desventajas mencionadas anteriormente que puedan presentar la sísmica de onda convertida, se debe resaltar el uso de las técnicas de procesamiento adecuadas aplicadas en este proyecto, las cuales permitieron observar zonas con buena definición de reflectores en imagen sísmica PS como se observa en los recuadros negros de la Figura 5.

La Figura 6 corresponde a los perfiles PP y PS migrados pre-apilamiento de la línea ANH-SS-2008-06 de San Jacinto 2D 2008. Se corrobora lo comentado y observado en el párrafo anterior y la Figura 5.

Tanto las secciones PP como las secciones PS fueron de gran utilidad, no solo para la interpretación del área sino también durante el cálculo de atributos sísmicos y la identificación de las diferentes zonas de interés. Cabe destacar que durante el reprocesamiento hubo interacción entre el equipo de interpretación y el de procesamiento para obtener secciones sísmicas PSTM de calidad.

Informe Final de Interpretación Sísmica Componente Horizontal y Vertical – Programa Sinú Sur 2D 2008

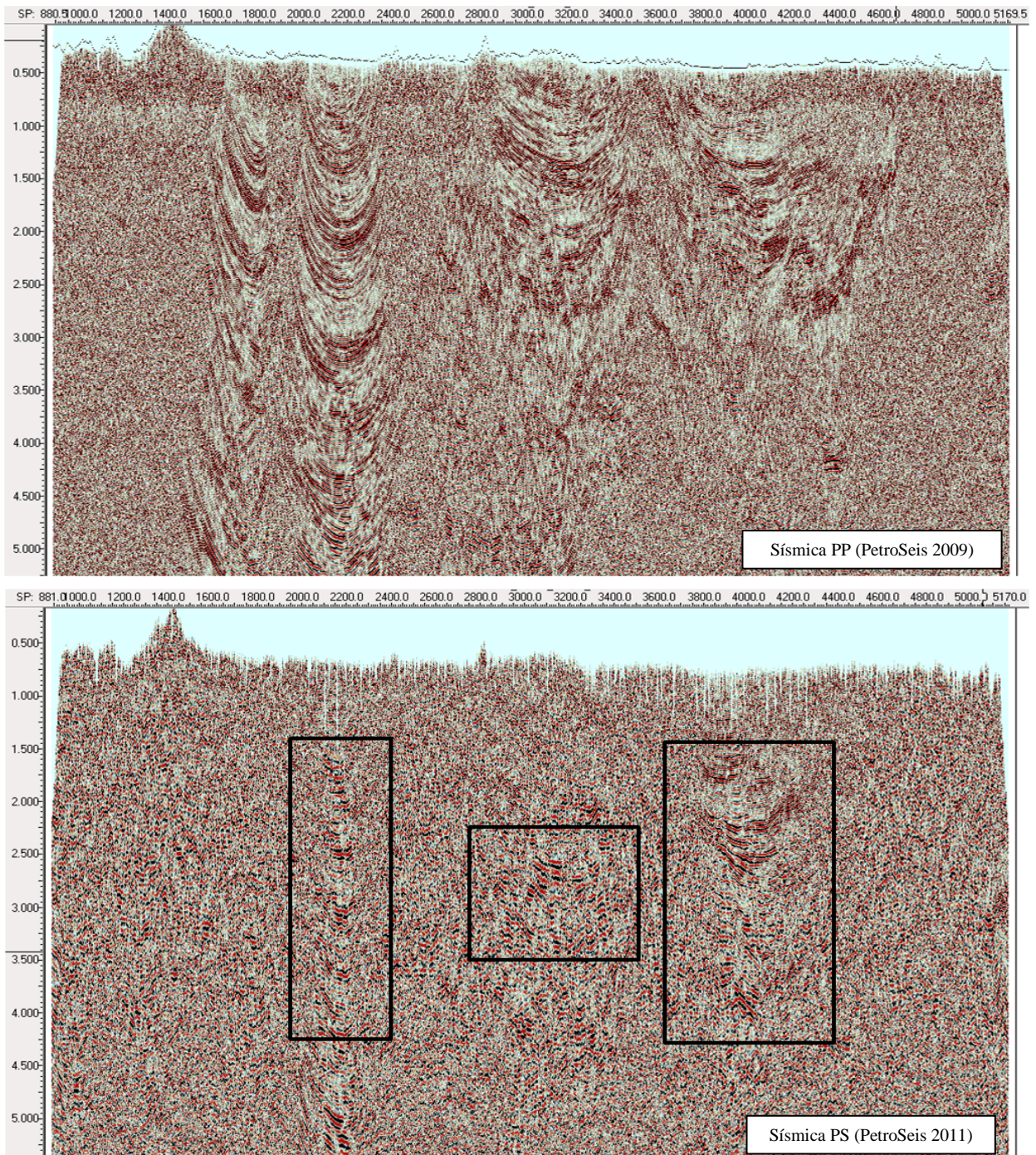


Figura 5. Línea ANH-SS-08-01 PP (arriba) y PS (abajo) de Sinú Sur 2D 2008 migrada pre-apilado en tiempo.

Informe Final de Interpretación Sísmica Componente Horizontal y Vertical – Programa Sinú Sur 2D 2008

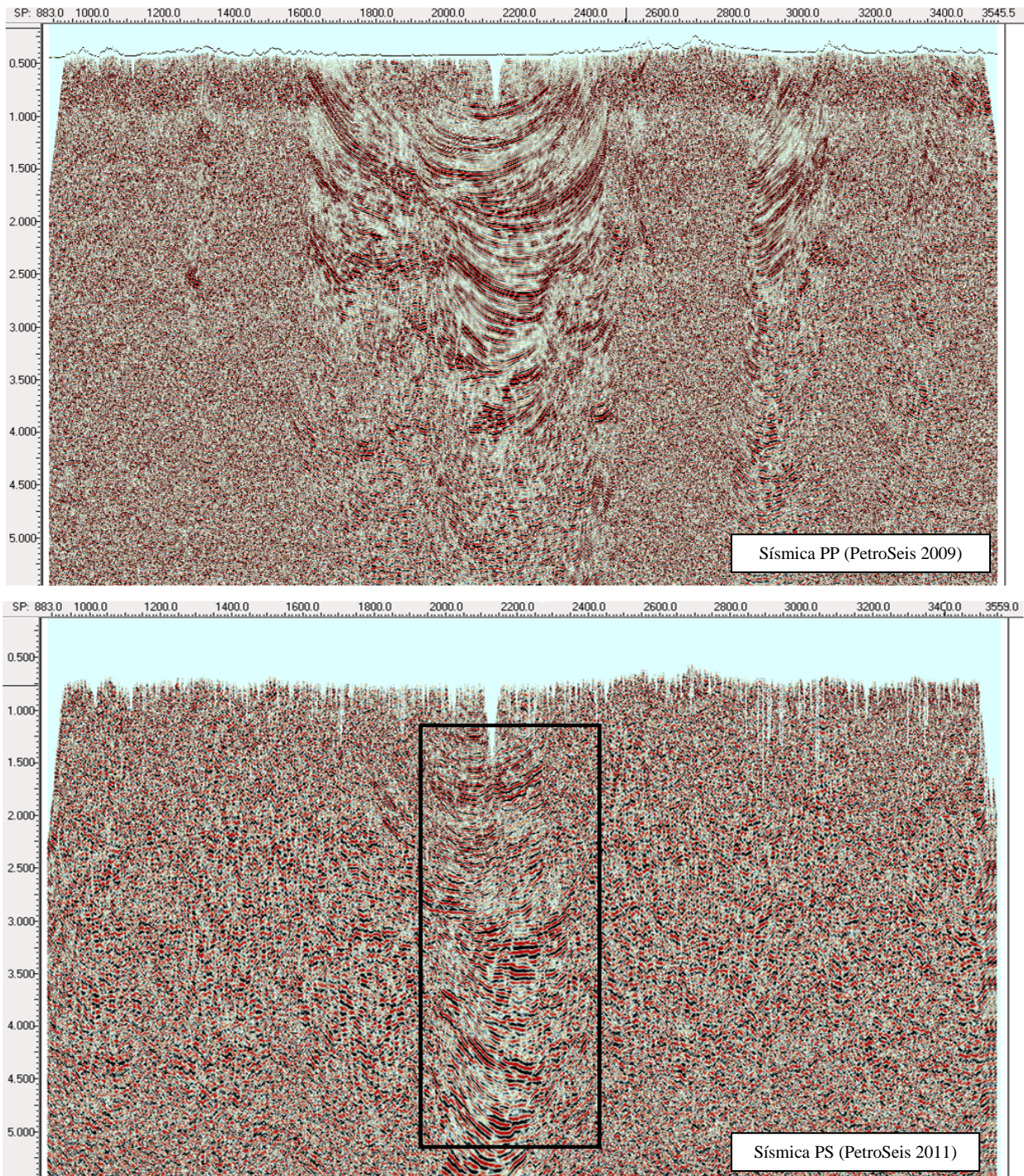


Figura 6. Línea ANH-SS-08-08 PP (arriba) y PS (abajo) de Sinú Sur 2D 2008 migrada pre-apilado en tiempo.

8. INTERPRETACIÓN

8.1 ANTECEDENTES

El área de la Cuenca Sinú, ha sido objeto de investigación en los últimos tiempos para orientar la exploración en el campo petrolero. Con esto, se ha buscado definir los componentes del sistema petrolero, cuya existencia está comprobada por la producción reportada en los campos Floresanto y Jaraguay Norte (Caro y Rey, 2009).

Cerón et al., (2005) identifican tres (3) unidades estructurales en el área donde se ubica el prisma acrecionario de Sinú y San Jacinto: Primera una plataforma sin deformar al este de de la zona de falla Romeral, una segunda unidad que representa el cinturón plegado de San Jacinto al oeste de esta misma zona de falla, y el cinturón deformado de Sinú donde la deformación continúa hacia el frente de la cuña (Figura 7). Asimismo Flinch (2003), indica que en el área de Sinú – San Jacinto donde se encuentra dicha cuña acrecionaria, el área Sinú sería la zona imbricada más joven que está expuesta hacia el este del área.

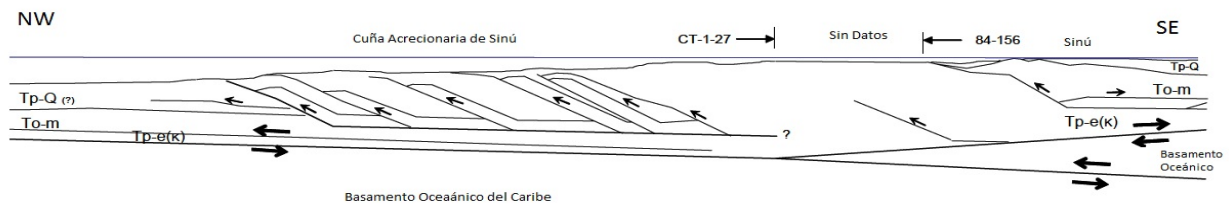


Figura 7. Esquematación de la cuña acrecionaria de Sinú, en la cual se puede observar la dirección de la deformación en el área de estudio. Tomado de Cerón et al., 2005.

En un estudio realizado por Rey y Rubiano (2009), costa afuera de la cuenca de Sinú definen cuatro secuencias sísmicas de edad Mioceno y el Holoceno, dentro de las cuales se encuentran tres (3) tipos de reservorios con excelentes propiedades petrofísicas, los cuales son: “*sheet sands* no confinadas”, “*sheet sands* semiconfinadas” y “*cannel levee complex*” (Figura 8).

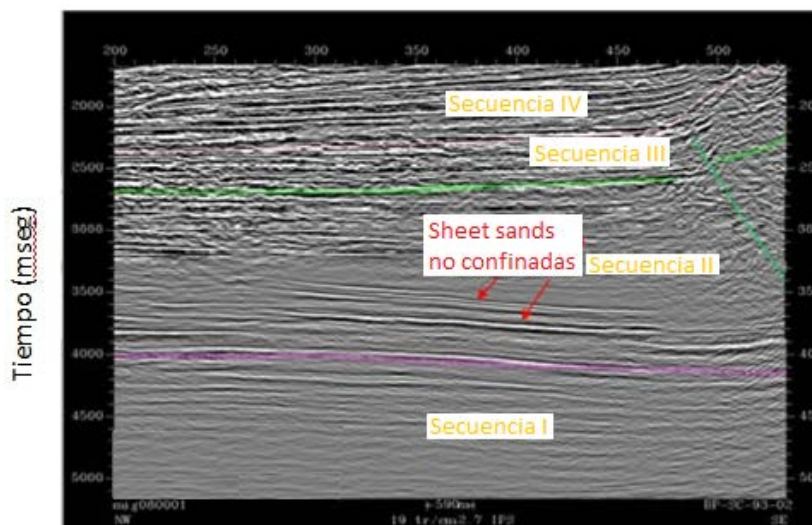


Figura 8. Sección sísmica que representa las 4 secuencias identificadas por Rey y Rubiano. Dentro de las elipses rojas se encuentran los reservorios identificados como “*sheet sands* no confinadas” definidas por estos mismos autores (Rey y Rubiano, 2009).

Aguilera (s.f.), en su estudio de la Cuenca Sinú, indica a partir de los resultados de muestras, que las rocas de las formaciones el Floral y Ciénaga de Oro presentan una importante cantidad de materia orgánica y un kerógeno tipo III, por lo que pueden generar gas y líquidos en menores proporciones. En cuanto a la roca reservorio, los autores proponen que debido al espesor y a las facies de ambientes transicionales deltaicos a marinos, las formaciones Arroyo seco y Ciénaga de Oro presentan condiciones favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Este mismo autor indica que las intercalaciones de lodolitas y limolitas en algunas formaciones podrían representar sellos locales, además menciona que los depósitos transgresivos de la formación El Floral representan un sello regional para el área.

Caro y Rey (2009), en su estudio de la subcuenca de Sinú, indican que estratigráficamente en el área de estudio se presenta una espesa secuencia sedimentaria del Cenozoico, que descansa sobre un basamento oceánico. Dicha estratigrafía está ligada a la actividad tectónica, lo que genera una serie de depocentros los cuales se encuentran limitados por fallas rumbo deslizantes invertidas.

Estos autores presentan un modelo sísmico – estructural, en el cual se destaca la presencia de amplios sinclinales asimétricos con orientación SE – NW, limitados en sus flancos por un complejo sistema de fallas rumbo deslizantes, que forman estructuras en flor positiva, dentro de las cuales se pueden observar fallas normales e inversas (Figura 9). Explican que este sistema de fallas levanta el basamento, generando trampas estructurales, lo que permite que estas zonas sean de mayor prospectividad.

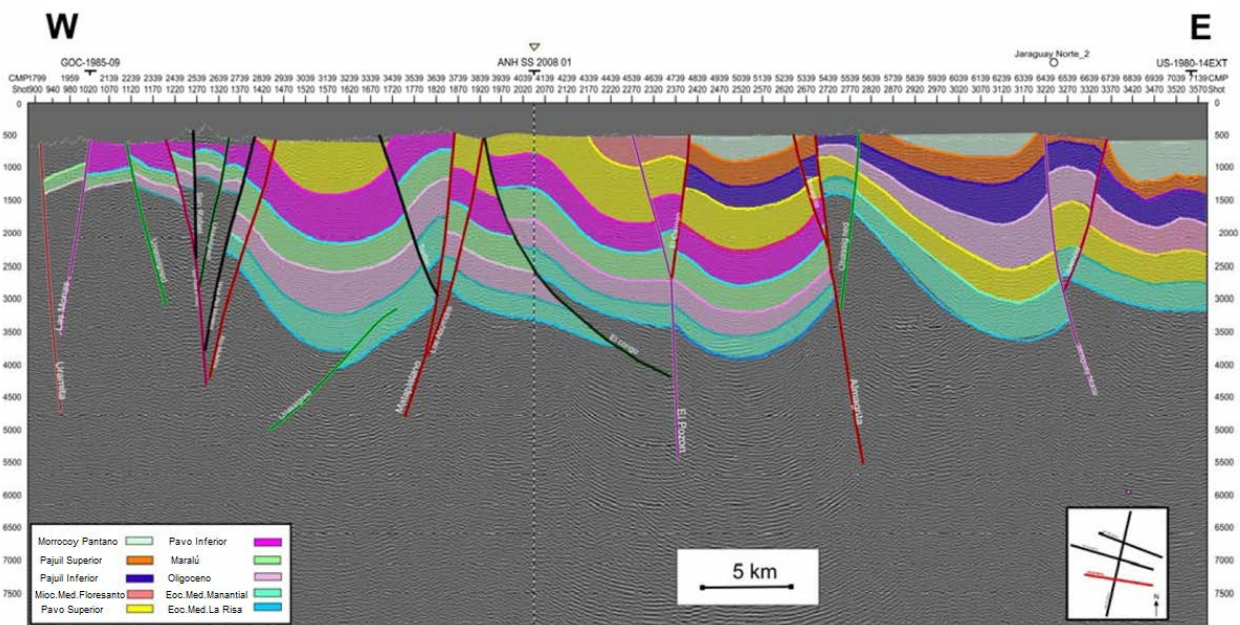


Figura 9. Sección sísmica en la cual se muestra el modelo sísmico – estructural interpretado por Caro y Rey. En ésta se observan los sinclinales limitados en sus flancos por fallas (Modificado de Caro y Rey, 2009).

En cuanto al sistema petrolero, estos autores, proponen como roca madre “*shales*” de ambiente marino profundo de edad Mioceno temprano a medio de la Formación Floresanto, la Formación Maralú de edad Oligoceno y el *Chert* de Candelaria. En cuanto a la roca reservorio, se propone las arenas de la Formación Pavo en el occidente y las arenas de las formaciones San Rafael y Pavo en el oriente. En relación a la roca sello se proponen los sedimentos finos de la Formación Floresanto.

En cuanto a las trampas, los autores explican que se presentan dos tipos: primero trampas estructurales que se presentan en los altos estructurales en la cual se forman anticlinales fuertemente fallados, y segundo trampas estratigráficas relacionadas con truncaciones y *onlaps* (Figura 10).

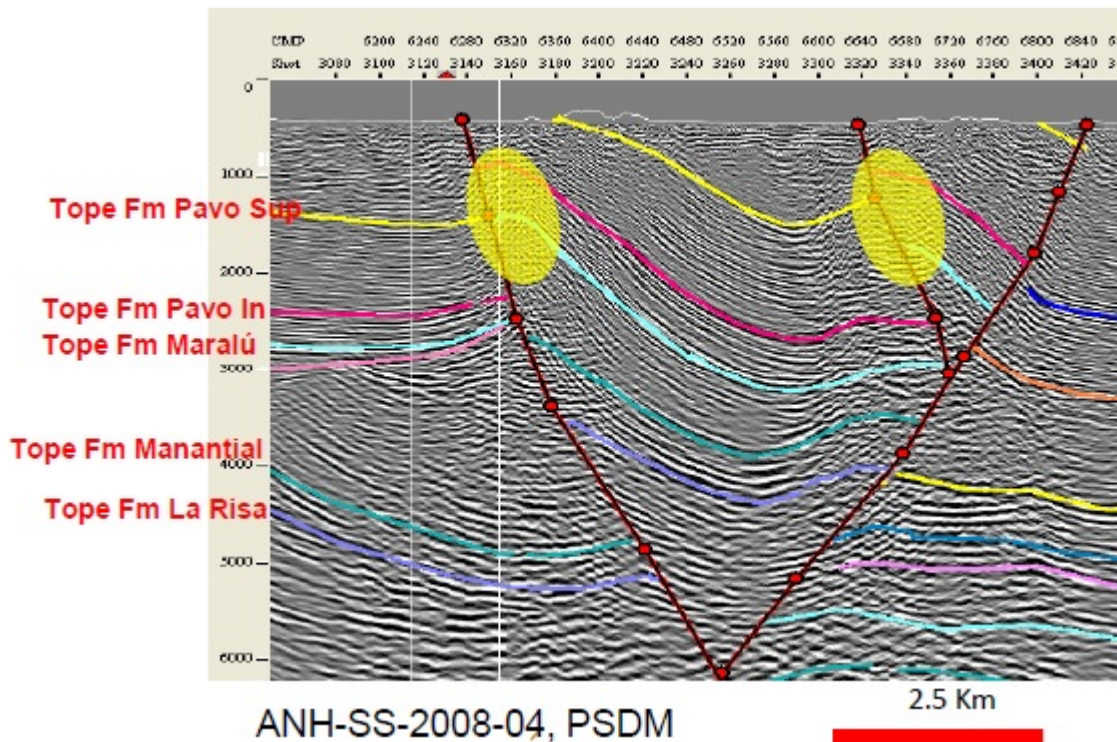


Figura 10. Sección sísmica interpretada, en la cual se puede observar las trampas estructurales (elipses amarillas) interpretadas por Caro y Rey para el área de Sinú. Tomado de Caro y Rey, 2009.

8.2 BASE DE DATOS Y CALIBRACIÓN

8.2.1 Información de Pozos

La información con la que se contó para la realización del Proyecto Sinú Sur 2D 2008 consta de cuatro (4) pozos: Arboletes-1X, Necocli-1, Piedricita-1X y Porqueria-1X. La Tabla 1 muestra información relacionada con el posicionamiento de los pozos con coordenadas en Datum Magna Sirgas (Zona Oeste), mientras que en la Tabla 2 se observa la relación de registros para cada uno de ellos, así como la no disponibilidad de curvas TZ.

Tabla 1. Información de ubicación espacial de los pozos pertenecientes a Sinú Sur 2D 2008.

POZO	UWI	KB (pies)	COORDENADA X (m)	COORDENADA Y (m)
Arboletes-1X	ARBO001	51.5	1074485.56	1472840.62
Necocli-1	NECO001	41.21	1037026.14	1413116.74
Piedrecita-1X	PICI001	295	1050889.12	1434169.71
Porqueria-1X	PORU001	221	1082953.02	1446951.55

Tabla 2. Relación de registros para los pozos pertenecientes a Sinú Sur 2D 2008.

POZOS	REGISTROS						Curvas TZ
	GR	SP	DT	Resistividad	RHO	PHI	
Arboletes-1X	X	X	X	X	X	X	
Necocli-1		X					
Piedrecita-1X		X	X	X			
Porqueria-1X		X		X			

En el mapa expuesto en la Figura 11 se muestra la ubicación de los pozos con respecto a las líneas sísmicas pertenecientes al levantamiento de Sinú Sur 2D 2008. De esta imagen se puede observar que el pozo Piedrecita-1X colinda al Oeste con la línea ANH-SS-08-04. Sin embargo, al no contar con el registro de densidad para el mismo, el pozo no pudo ser utilizado para la calibración sísmica – pozo. Para ello fue utilizado el pozo Arboletes-1X, ubicado al Oeste de la línea ANH-SS-08-01, que contaba con la información necesaria para realizar la calibración como se observa en la Tabla 2.

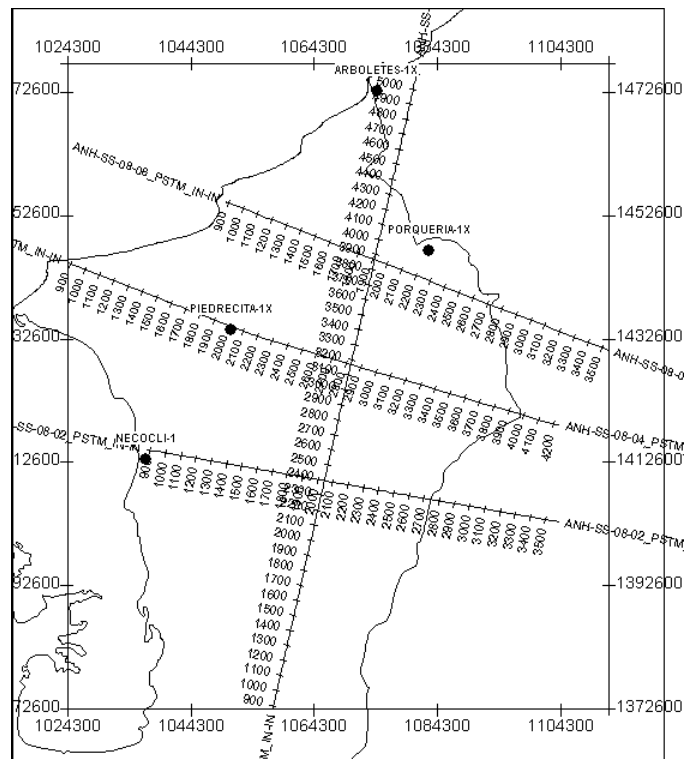


Figura 11. Mapa ubicación de pozos con respecto a las líneas sísmicas pertenecientes a Sinú Sur 2D 2008.

En cuanto a la información de topes, solo se tenía para el pozo Arboletes-1X (Tabla 3). Estos topes fueron establecidos por ECOPEPETROL mediante la interpretación de registros eléctricos, información bioestratigráfica y correlación de pozos.

Tabla 3. Topes formacionales con correlación de edades para el pozo Arboletes-1X.

UNIDAD CRONOESTRATIGRAFICA	EDAD	TOPE (pies)
Corpa	Plioceno - Pleistoceno	---
Tubara	Mioceno tardío	90
Porquero Superior	Mioceno temprano	430
Porquero Inferior	Mioceno medio	4315
Ciénaga de Oro Superior	Oligoceno – Mioceno temprano	6320
San Jacinto	Eoceno tardío	5910

8.2.2 Calibración Sísmica - Pozo

Como se mencionó en la sección anterior, el único pozo disponible que posee los registros sísmicos y/o densidad necesarios para la calibración sísmica - pozo fue el pozo Arboletes-1X. En una primera instancia se proyectó la localización del pozo Arboletes-1X hacia el Este justo sobre la línea ANH-SS-08-01 de Sinú Sur 2D 2008 (ver flecha verde de Figura 12). En la Figura 13 se muestra la calibración realizada entre el sismograma sintético generado en el pozo Arboletes-1X y la línea ANHSS-2008-01 de Sinú Sur 2D 2008, donde es evidente que -la -mala relación señal-ruido en esta zona de la sísmica, sin embargo se pudo obtener una regular correlación (coeficiente de correlación de 0,30) obtenida entre los diferentes picos y valles para el intervalo comprendido entre 1500 y 3500 ms de profundidad. Esta calibración es de gran importancia porque permitió corroborar la interpretación sísmica realizada y los mapas geológicos de superficie que se poseen con los topes formacionales del pozo.

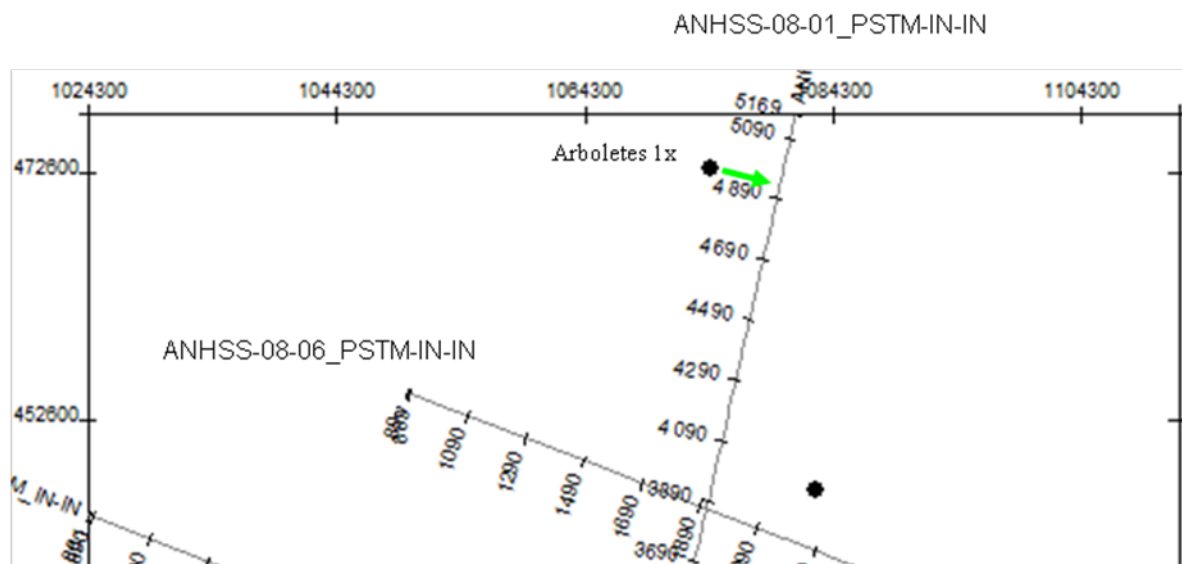


Figura 12. Localización del pozo Arboletes respecto a la línea 1 y 6 de Sinú Sur 2D 2008 para la calibración sísmica-pozo.

Informe Final de Interpretación Sísmica Componente Horizontal y Vertical – Programa Sinú Sur 2D 2008

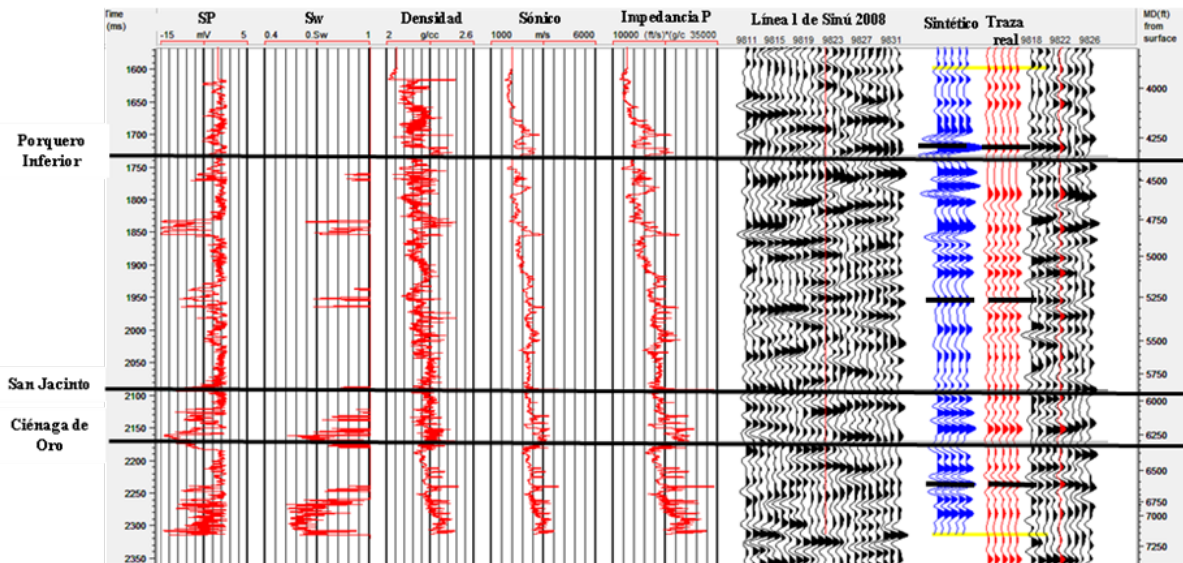


Figura 13. Correlación sísmica-pozo de Arboletes 1 con la línea sísmica ANHSS-2008-01_PSTM-IN-IN de Sinú.

8.2.3 Columnas Estratigráficas

La estratigrafía para Sinú se resume en la siguiente columna generalizada, Figura 14. En ella se muestra la relevancia hidrocarburífera de las arenas de Fm Pavo, equivalentes a Ciénaga de Oro (CDO) en Sinú San Jacinto, de edad Eoceno superior.

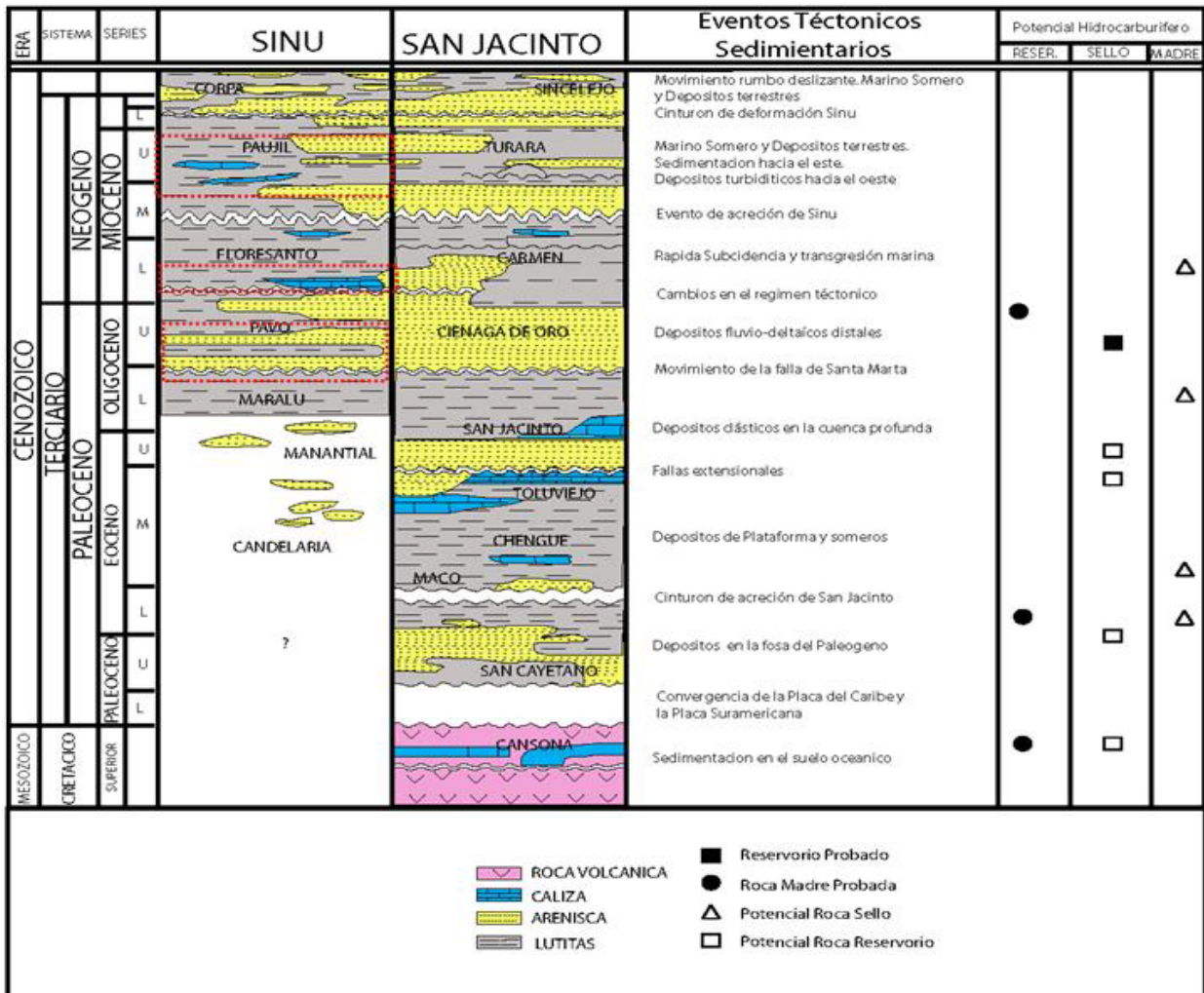


Figura 14. Columna estratigráfica generalizada para Sinú Sur 2D 2008.

8.2.4 Mapas Geológicos de Superficie

La Figura 15 muestra la trayectoria de las líneas sísmicas pertenecientes al levantamiento de Sinú Sur 2D_2008 sobre el Mapa Geológico de Superficie de Ingeominas, 2007. Este mapa fue utilizado para definir contactos de edades y fallas que cortaban las secciones sísmicas en superficie y de esta manera llevar la interpretación hacia el subsuelo.

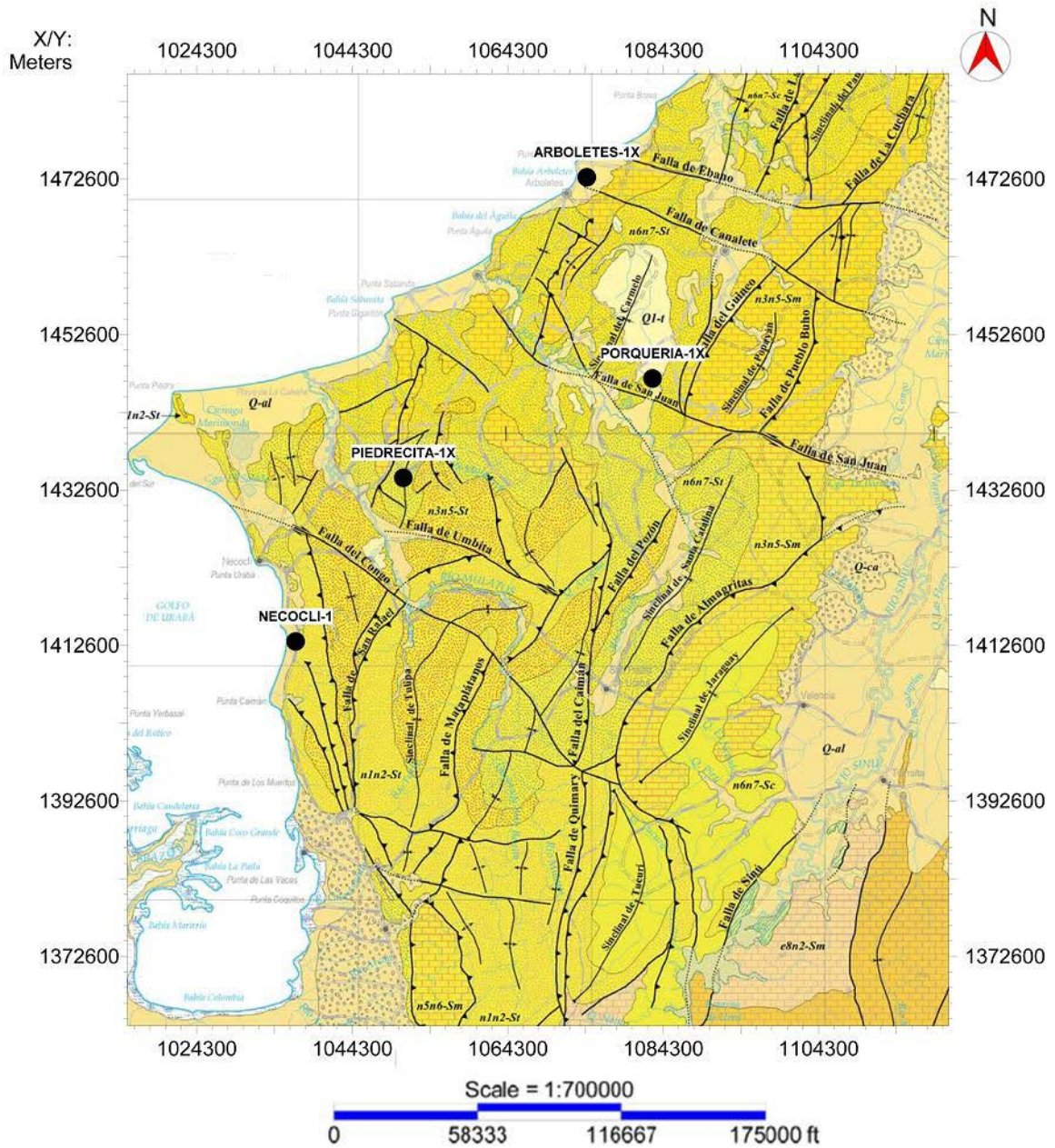


Figura 15. Líneas sísmicas pertenecientes al levantamiento Sinú Sur 2D_2008 sobre el Mapa Geológico de Colombia (INGEOMINAS, 2007).

8.2.5 Horizontes Interpretados

La metodología aplicada para la interpretación del área del Cinturón Plegado del Sinú (CPS) se basó en la identificación de discordancias en las secciones sísmicas y su correlación con el mapa geológico de superficie (Ingeominas, 2007). Una vez identificados los horizontes se procedió hacer una correlación sísmo-estratigráfica basada en la geometría de reflectores, terminaciones, y su expresión sísmica (contenido de frecuencias y amplitud). Adicionalmente incorporamos la información de pozos descrita en las Tablas 1, 2 y 3, lo cual permitió ajustar las discordancias descritas a partir de la sísmica con alguna formación litoestratigráfica. Así como también, establecer un modelo estructural para el CPS.

En línea con lo anterior, se identificaron ocho horizontes, de los cuales solo cinco pudieron ser correlacionados a lo largo de todo el programa sísmico Sinú Sur 2D_2008. La correlación sísmica parte de las expresiones sísmicas regionales asociadas a discontinuidades producto de los diferentes pulsos de deformación ocurridos dentro del Cinturón de San Jacinto (CSJ), y se esquematizan en la Figura 16.

<u>Primer horizonte, D1:</u>	Intra-Cretácico Superior 1.
<u>Segundo horizonte, D2:</u>	Intra-Cretácico Superior 2.
<u>Tercer horizonte, D3:</u>	Discordancia Eoceno tardío.
<u>Cuarto horizonte, D4:</u>	Asociado a la Base del Oligoceno superior.
<u>Quinto horizonte, D5:</u>	Posiblemente tope de la Fm. Pavo. 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.
<u>Sexto horizonte, D6:</u>	Intra Mioceno medio. Discordancia de edad Intra o base del Mioceno medio?
<u>Séptimo horizonte, D7:</u>	Intra Mioceno medio, parte superior.
<u>Octavo horizonte, D8:</u>	Mioceno superior / Plioceno, podría corresponder a la Base del Plioceno.

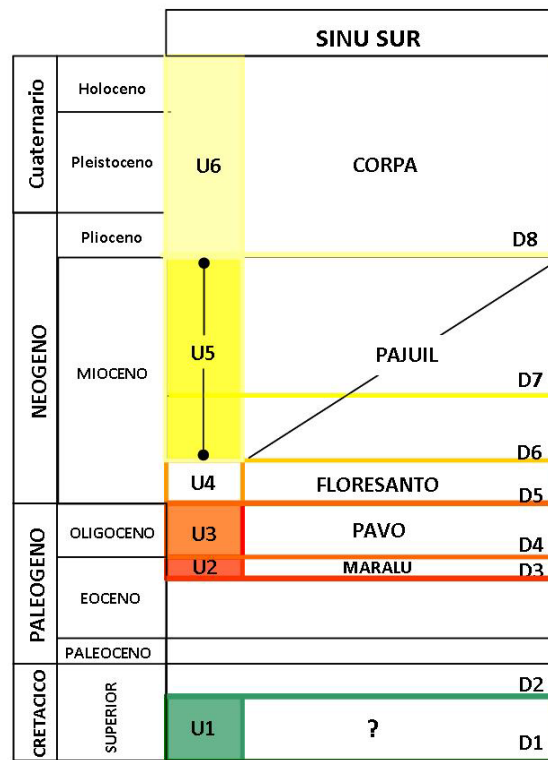


Figura 16. Esquema de distribución de horizontes y unidades interpretadas en el área del Sinú.

No obstante, no todos los horizontes se pudieron correlacionar a lo largo del programa sísmico. Solo los horizontes del D4 al D8, permitiendo desarrollar cinco (5) mapas. El resto de los horizontes, D1 al D3, fue muy difícil de correlacionar y seguir tomando en cuenta su expresión sísmica.

8.3 INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA Y ESTILOS ESTRUCTURALES

8.3.1 Interpretación Sismo-Estratigráfica

Se realizó con base en la correlación de cinco de los horizontes antes descritos, ya que los horizontes D1 al D3, por su profundidad y relación S/R de la sísmica no fue posible seguirlos a lo largo de todo el programa sísmico Sinú Sur 2D 2008. A continuación se describen los cinco (5) horizontes interpretados:

1) HORIZONTE D4: Intra Oligoceno? Asociado a la base de la Fm. Pavo. Horizonte que se profundiza en la parte central y se someriza hacia el noroeste y noreste del área, formando un depocentro controlado por las fallas Almagrita hacia el sureste, y Pozón y Caimán (correlacionadas en subsuelo) hacia el noreste del área, ver mapa del horizonte D4 (Figura 19 y Anexo A1.1).

2) HORIZONTE D5: Mioceno temprano? Asociado al tope del Oligoceno y base del Mioceno temprano. Horizonte que se comporta de manera discordante marcando inicio de levantamiento (Figuras 17 y 18). 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 y 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 A1.2).

3) HORIZONTE D6: Mioceno medio? Asociado a la base del Mioceno medio, y probablemente corresponda a la base de la Fm. Pajuil (equivalente lateral hacia el noreste Fm. Tubará y hacia el VIM Fm. Porquero superior). Discordancia que marca un fuerte pulso de levantamiento (Figura 17). La distribución de D6 tiende a erosionarse hacia el noroeste, suroeste y noreste del área, y al igual que los otros horizontes suprayacentes se profundiza hacia el sureste, controlado por las fallas de Almagrita, El Pozón, y El Congo, ver mapa del horizonte D6 (Figura 21 y Anexo A1.3).

4) HORIZONTE D7: Intra-Mioceno medio-tardío? Asociado al Mioceno medio-tardío, Formación Paujil, Figura 17. Horizonte que podría estar asociado al evento descrito por Flinch (2003) del Mioceno medio-tardío, el cual representa un fuerte evento compresivo que causa 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 (Figura 22 y Anexo A1.4).

5) HORIZONTE D8: Mioceno tardío - Plioceno, discordancia asociada a la base del Plioceno, Figura 17. Horizonte que pudiese corresponder a la base de la Fm. Corpa y representar el pulso final del levantamiento Andino. La cartografía de este horizonte básicamente esta confinada a nivel de los sinclinales Sta. Catalina y Carmelo, ver mapa del horizonte D8 (Figura 23 y Anexo A1.5).

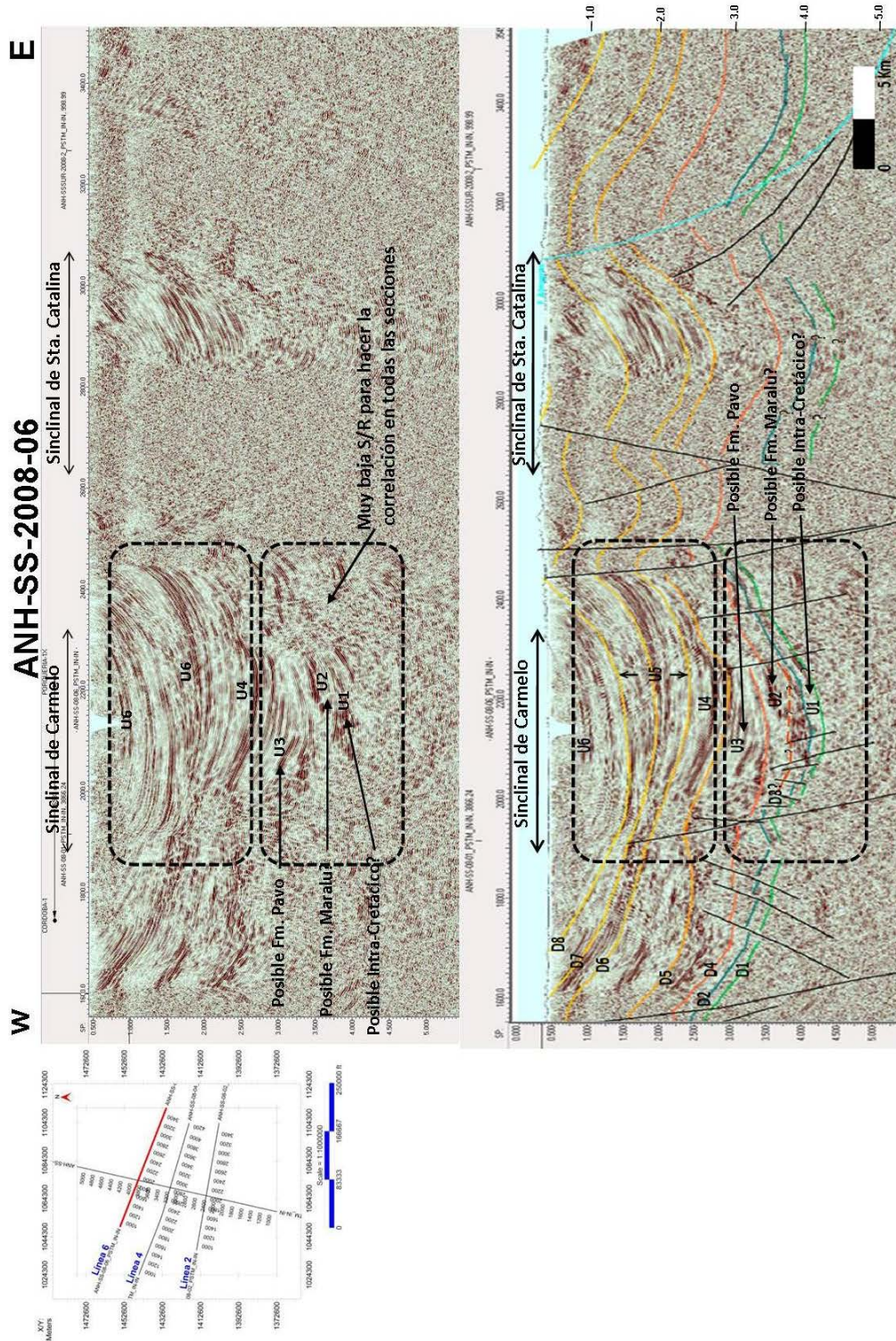


Figura 17. Definición de horizonte sobre Línea ANH-SS-2008-06. Nótese la baja relación S/R de las unidades U1 y U2, razón por la cual no se correlacionan lateralmente los horizontes pre-oligocenos? D1, D2 y D3. El horizonte D4 pudiese estar asociado a la sedimentación oligocena del CPS; D5, D6, D7 y D8 marcan deposición contemporánea a la sedimentación productos de todos los pulsos de deformación dentro del CPS.

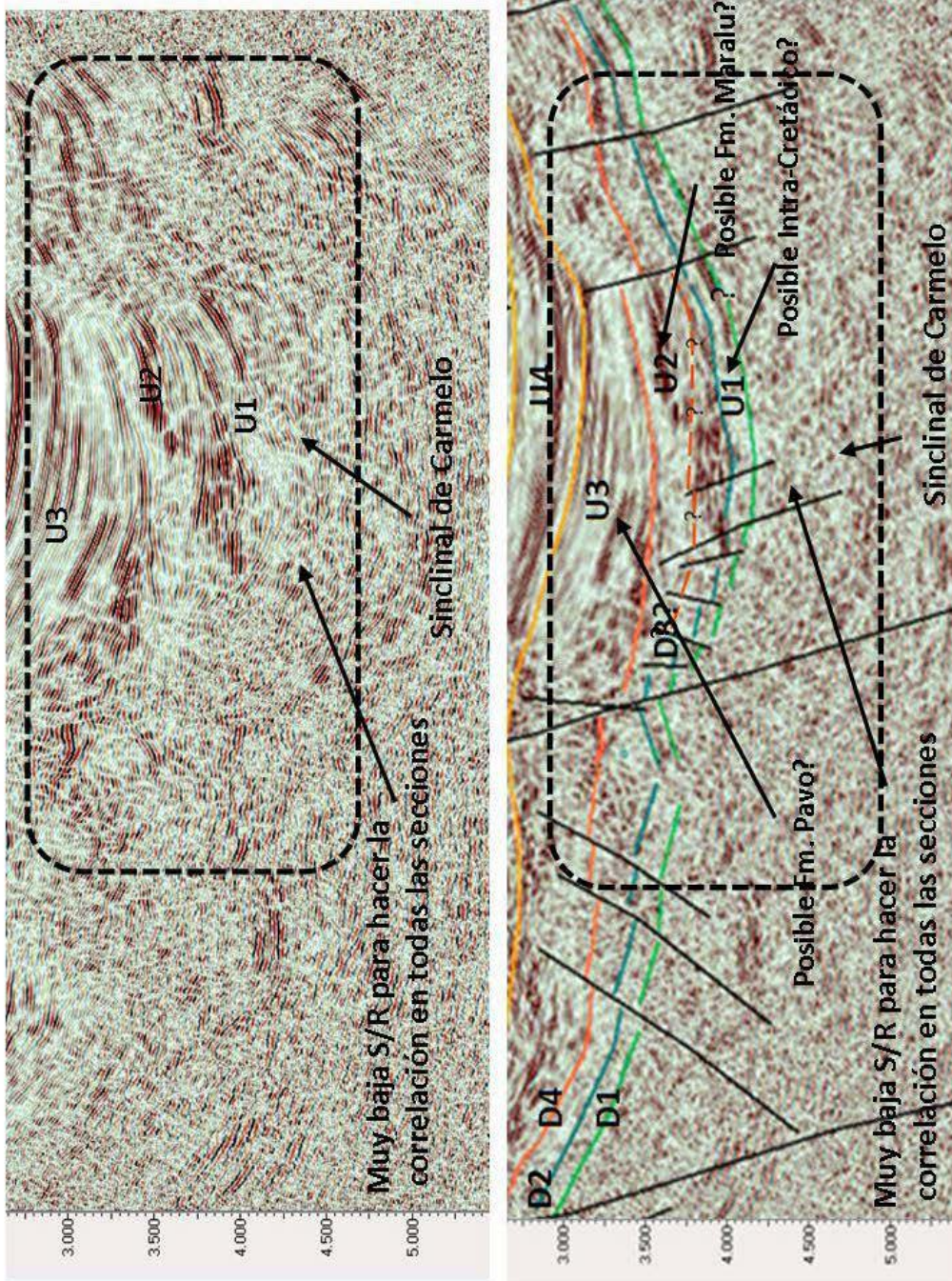


Figura 18. Zoom de horizonte sobre Línea ANH-SS-2008-06. Nótese que U1, U2 y U3, muestran contrastes de amplitud interesantes que podrían estar asociados a depósitos carbonáticos, del tipo de la Cansona o el Chert de la Candelaria, los cuales se depositan de manera contemporánea a la deformación.

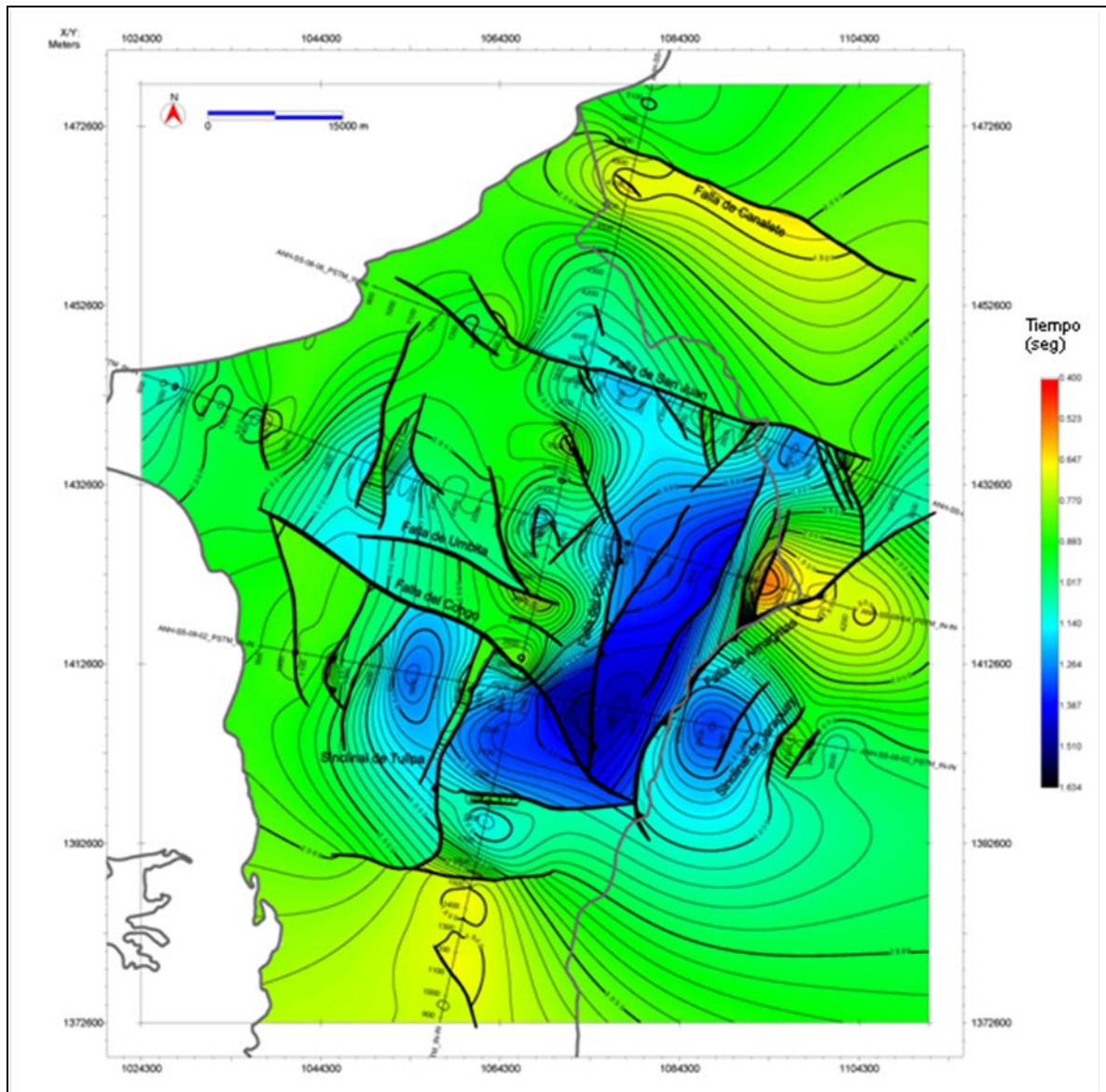


Figura 19. Mapa del Horizonte D4. Horizonte asociado a la base de la Fm. Pavo, Oligoceno? Los depocentros de este horizonte están asociados a depósitos contemporáneos a la sedimentación. Nótese hacia el centro profundización y hacia el SE y NW somerización, ver Anexo A1.1.

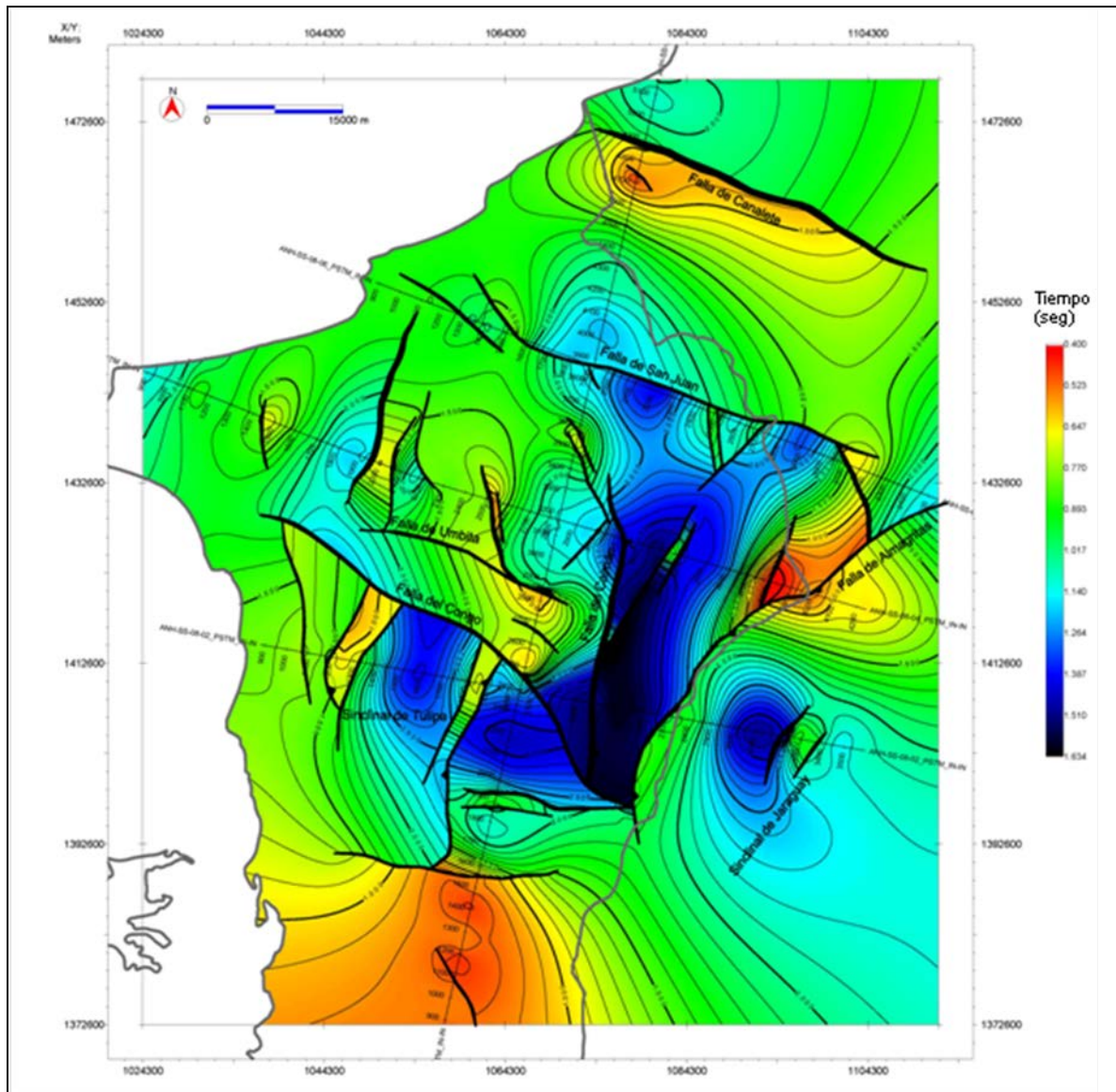


Figura 20. Mapa del Horizonte D5. Horizonte asociado al tope del Oligoceno-Base del Mioceno temprano, posible base Fm. Floresanto? Nótese hacia el centro y SE no deposición de la sección, y hacia el oeste aparece y se profundiza, producto de la correlación sismoestratigráfica con el programa Sinú Sur 2D 2008, ver Anexo A1.2.

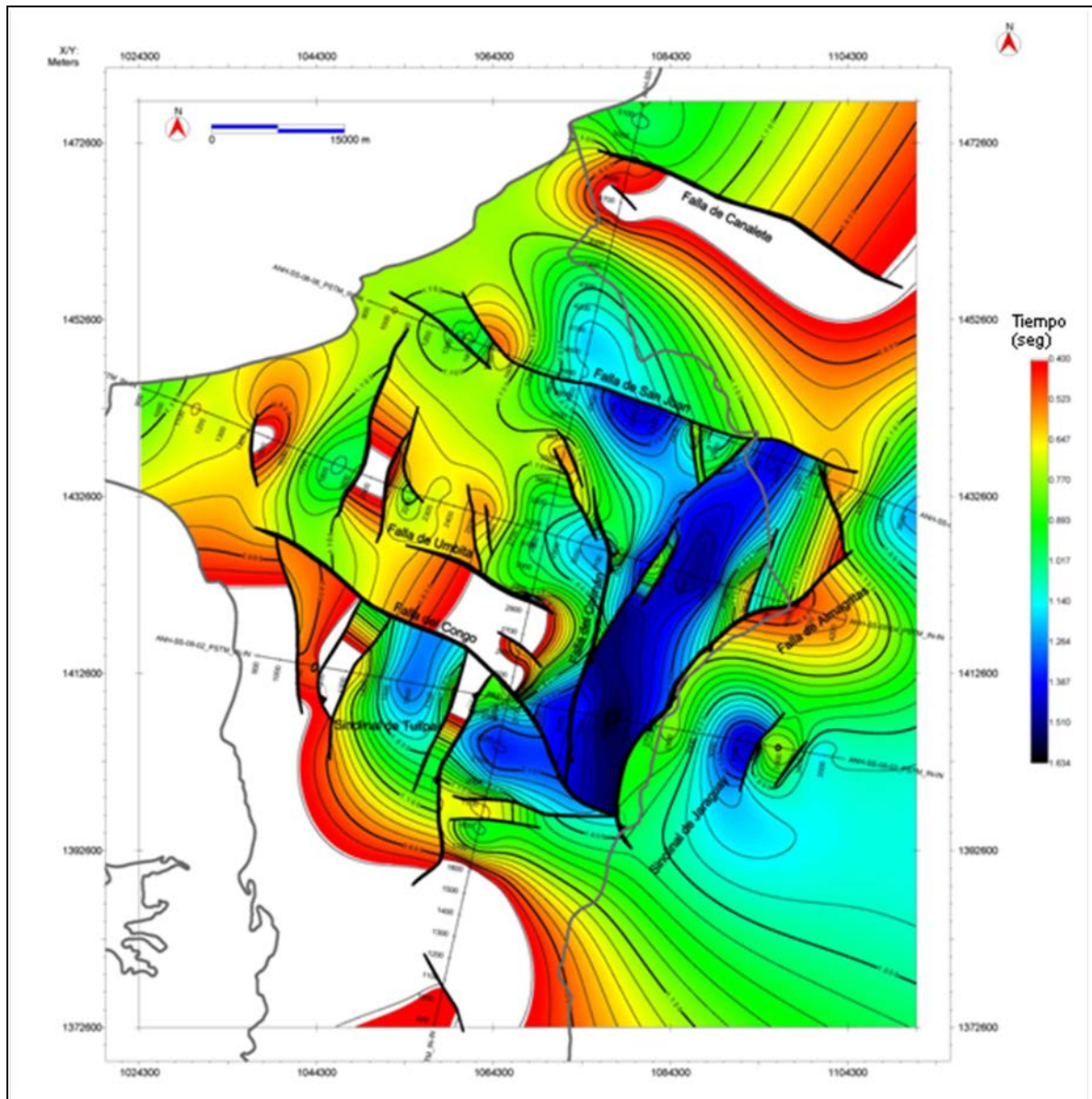


Figura 21. Mapa del Horizonte D6. Horizonte asociado al Mioceno-medio, posible base de la Fm. Pjuil? Nótese que la distribución de D6 tiende a erosionarse hacia el NW, SW y NE del área, profundizándose hacia el SE, ver Anexo A1.3.

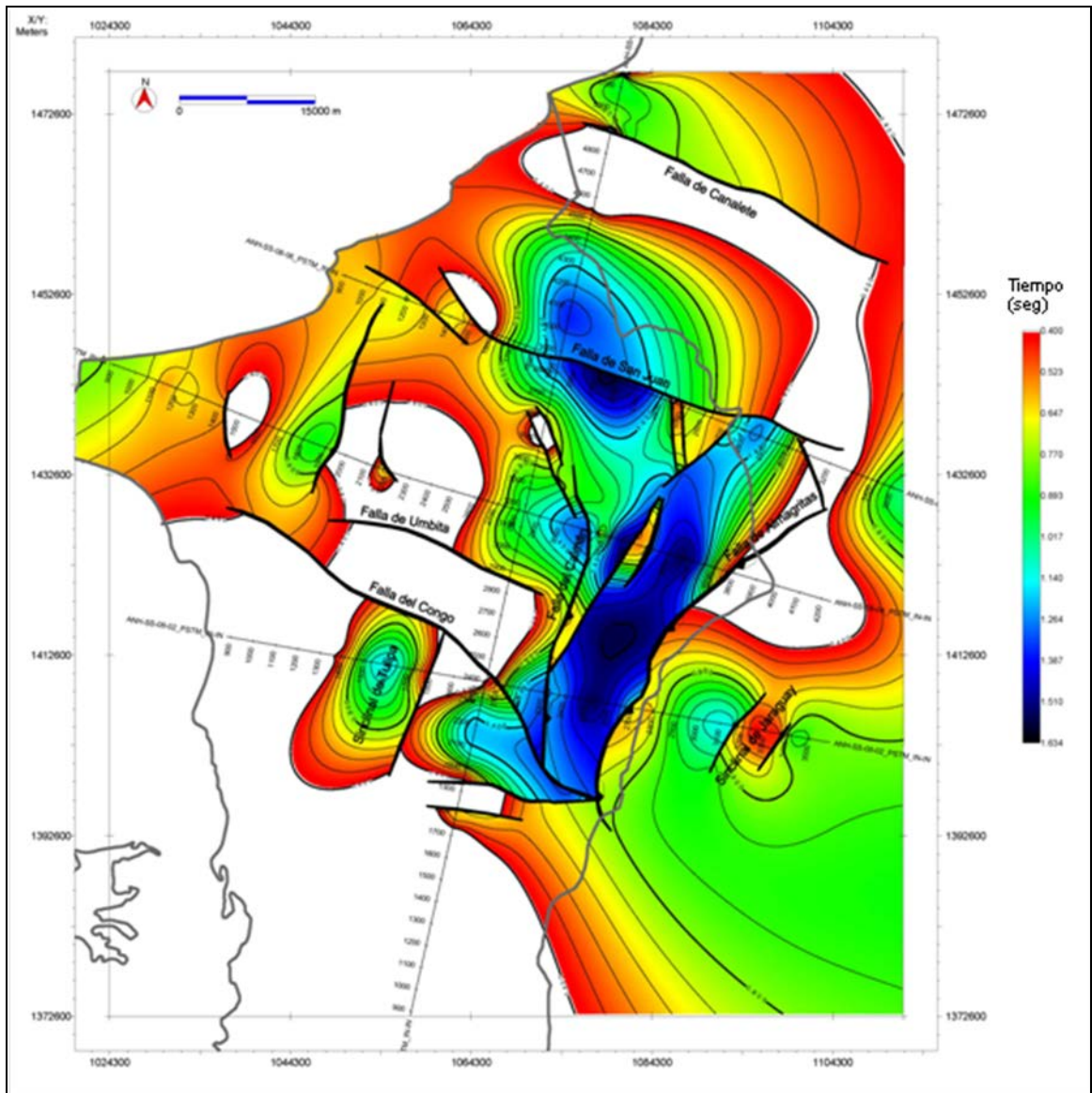


Figura 22. Mapa del Horizonte D7. Horizonte asociado al Mioceno medio-tardío? Fm. Pajuil. Nótese que la sección tiende a erosionarse hacia el NW, SW y NE, profundizándose hacia el SE, ver Anexo A1.4.

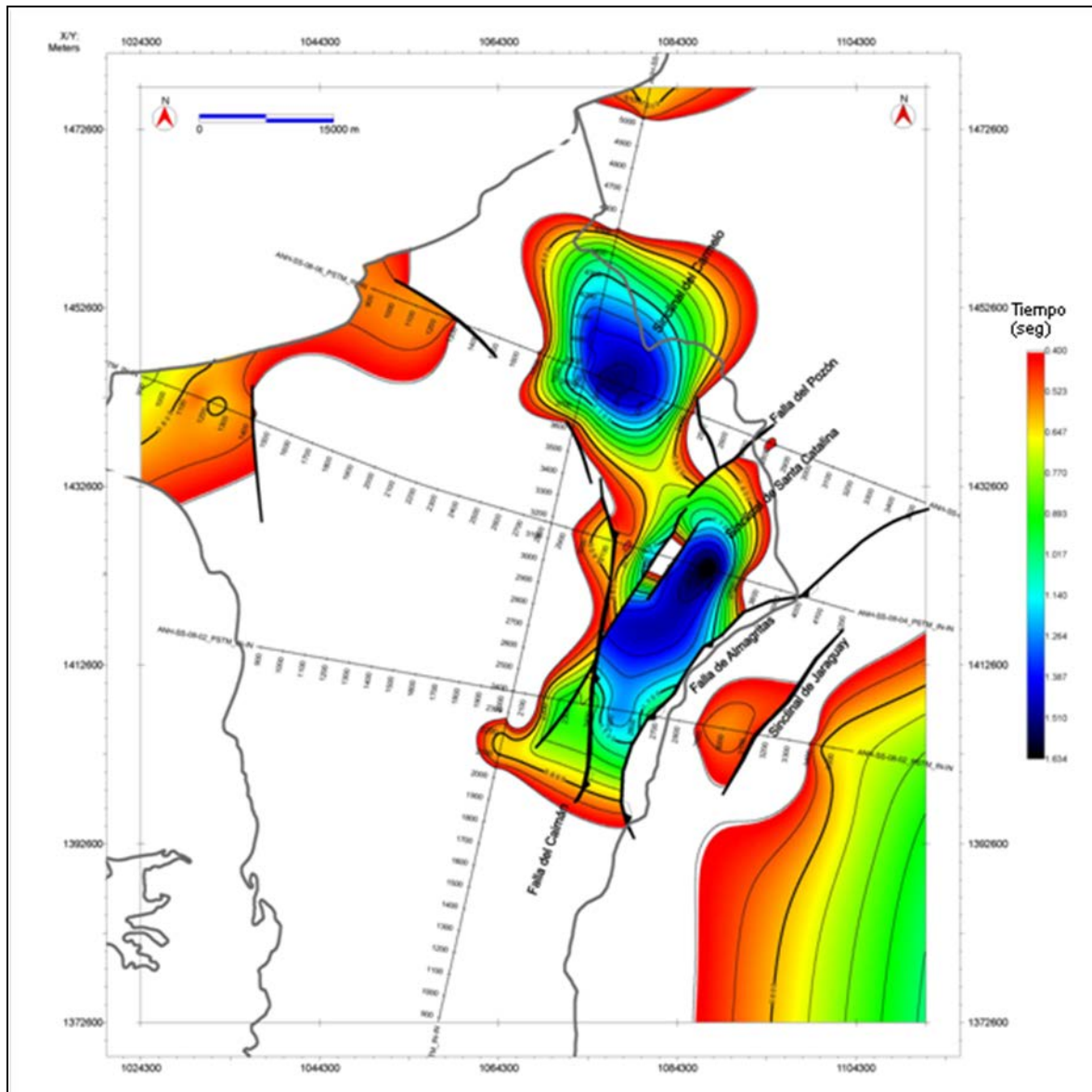


Figura 23. Mapa del Horizonte D8. Horizonte asociado a la base del Plioceno Fm. Corpa. Nótese que los depocentros están enmarcados por los sinclinales de Sta. Catalina y Carmelo hacia el norcentro de la sección, ver Anexo A1.5.

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
D8	Fm. Corpa	Discordancia Mioceno tardío-Plioceno. Levantamiento Andino
D7	Fm. Pajuil Superior	Intra-Mioceno medio (parte superior). Separación de la Sierra Nevada de Santa Marta
D6	Fm. Pajuil Inferior	Discordancia Intra-Mioceno medio. Inicio del Cierre del Arco de Panamá (Duque-Caro, 1984), produce inversión de fallas normales con orientaciones NW-SE y cabalgamiento. Aumenta el ángulo de las cuñas. Levantamiento de las Serranías del Sinú y San Jacinto.
D5	Fm. Floresanto	Discordancia Oligoceno-Mioceno temprano?
D4	Fm. Pavo	Discordancia Eoceno tardío-Oligoceno?
D3	Fm. Maralu?	Intra-Eoceno. Orogénesis Pre-Andina (Cerón et al., 2005)
D2	Fm. Cansona –Candelaria?	Intra-Cretácico superior
D1	Fm. Cansona-Candelaria?	Cretácico superior

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

U1: Intra-Cretácica. 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, Candelaria? U1 tiene un espesor constante de ~250 ms TWT en la sección donde se pudo identificar (ANHSS-2008-06) (Figura 17). 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, Figuras 17, 18 y 24.

U2: Intra-Eoceno. Limitada en su base por el horizonte **D3** (la cual no se pudo correlacionar en todo el programa sísmico por la baja R/S) y en su parte superior por el horizonte **D4**. La unidad U2 está conformada estratigráficamente, por la Formación Maralu (Figuras 16 y 17), identificado como reservorio en el CPS por Caro et., 2009. En relación a su espesor es variable entre ~600 ms y ~ 250 ms TWT (Figura 17). Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia baja (Figura 24) lo que no facilita su correlación a lo largo del programa sísmico Sinú Sur 2D 2008.

U3: Intra-Oligoceno. Limitada en su base por el horizonte **D4** y en su parte superior por el horizonte **D5** (Figuras 16, 17 y 18). La unidad U3 está conformada estratigráficamente, por la Formación Pavo. En relación a su espesor 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 24).

U4: Mioceno temprano. Limitada en su base por el horizonte **D5** y en su parte superior por el horizonte **D6** (Figuras 16 y 17). La unidad U4 está conformada estratigráficamente, por la Formación Floresanto. Solo en la parte central del CPS se mantiene esta unidad, producto de los sinclinales desarrollados a través de las fallas de Almagrita, EL Pozón, El Caimán y hacia el suroeste El Congo. El espesor equivalente de esta 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 moderado-bueno (Figura 24).

U5: Mioceno temprano-medio. Limitada en su base por el horizonte **D6** y en su parte superior por el horizonte **D8** (Figuras 16 y 17). La unidad U5 está conformada estratigráficamente, por la Fm. Pajuil. Dentro del CPS esta formación forma parte depósitos contemporáneos a la deformación lo que hacen que su espesor sea variable, desde espesores erosionados hasta espesores de ~750 ms TWT (Figura 17). Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia moderado-bueno (Figura 24).

U6: Mioceno tardío-Plioceno. Limitada en su base por el horizonte **D8**. La unidad U6 está conformada estratigráficamente, por la Formación Corpa (Figura 16). Dentro del CPSJ esta formación forma parte depósitos contemporáneos a la deformación lo que hacen que su espesor sea variable, desde espesores erosionados hasta espesores de ~800 ms TWT (Figura 17). Sísmicamente mantiene un contenido de amplitud y de frecuencia moderado-bueno (Figura 24).

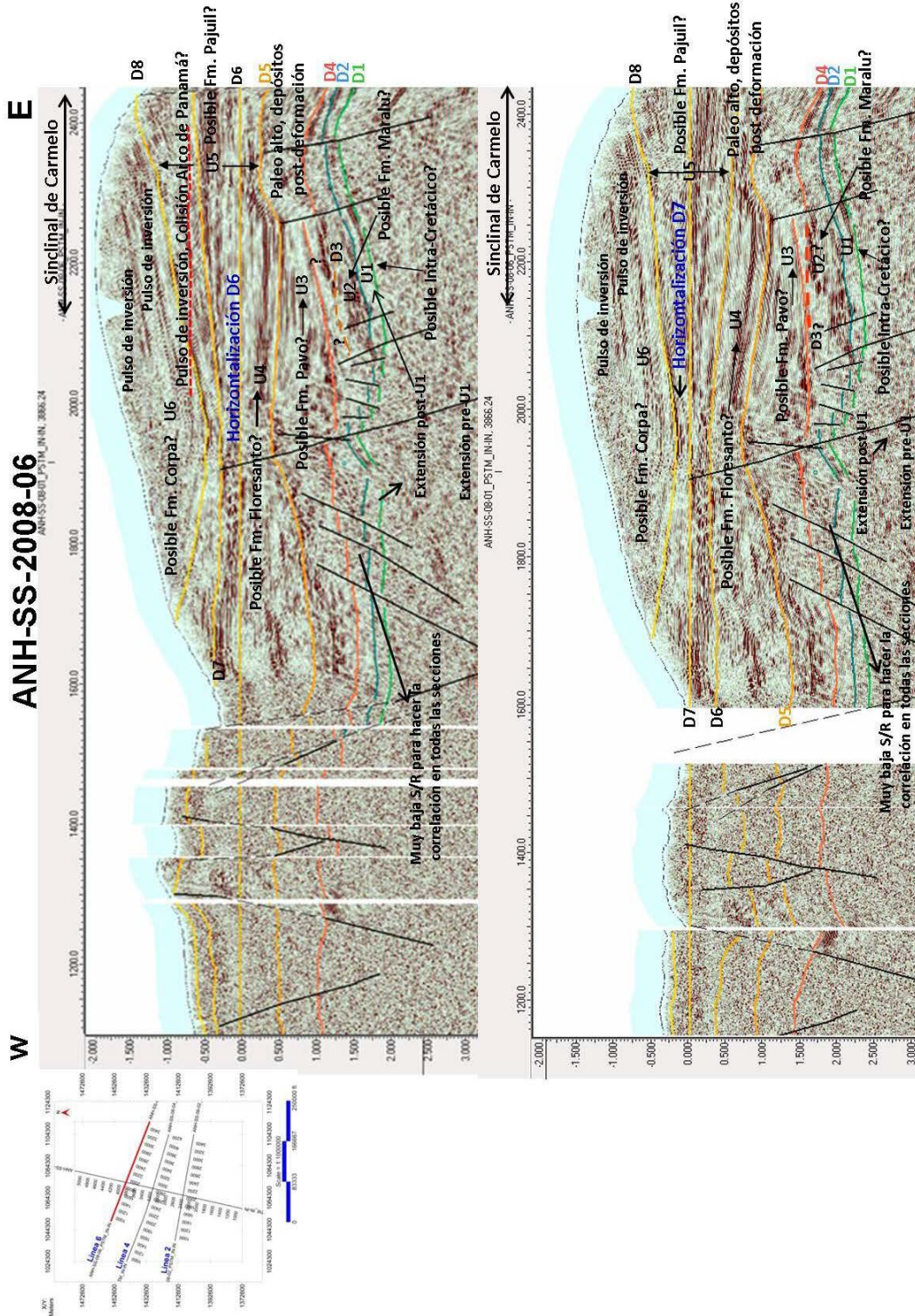


Figura 24. Flatten de los horizontes D6 y D7, CPS. Nótese que el horizonte D6 marca un fuerte pulso de inversión, posiblemente cierre de Panamá; D7 marca otro pulso importante de deformación.

En la siguiente Figura se trata de resumir las características sísmicas de las unidades y horizontes interpretados.

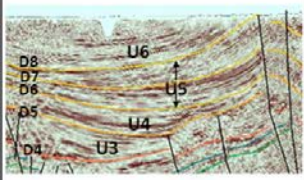
		Horizonte Interpretado	Unidad Sísmica	Contenido de Frecuencia y Amplitud	Geometría de los reflectores	Imagen Sísmica
Cuaternario	Holoceno		U6	Moderada/ Buena S/R	Divergente	
	Pleistoceno					
	Plioceno	D8				
NEOGENO	MIOCENO		U5			
		D7				
		D6				
		D5				
PALEOGENO	OLIGOCENO	D4	U3			
	EOCENO	D3	U2			
		PALEOCENO				
CRETACICO	SUPERIOR	D2	U1			
		D1				

Figura 25. Resumen de las unidades sismoestratigráficas.

8.3.2. Estilos Estructurales Definidos

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

F1. Fallas normales a partir de los 4 seg TWT asociadas a depósitos pre-oligocenos? Fallamiento que en algunos sectores refleja inversión positiva, Figura 26.

F2. 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, Figura 26.

Otro elemento de naturaleza sedimentario, pero que causa deformación estructural evidenciado en el área del CPS es el diapirismo de lodo, el cual se observa en las líneas ANH-SS-2008-04 y 01.

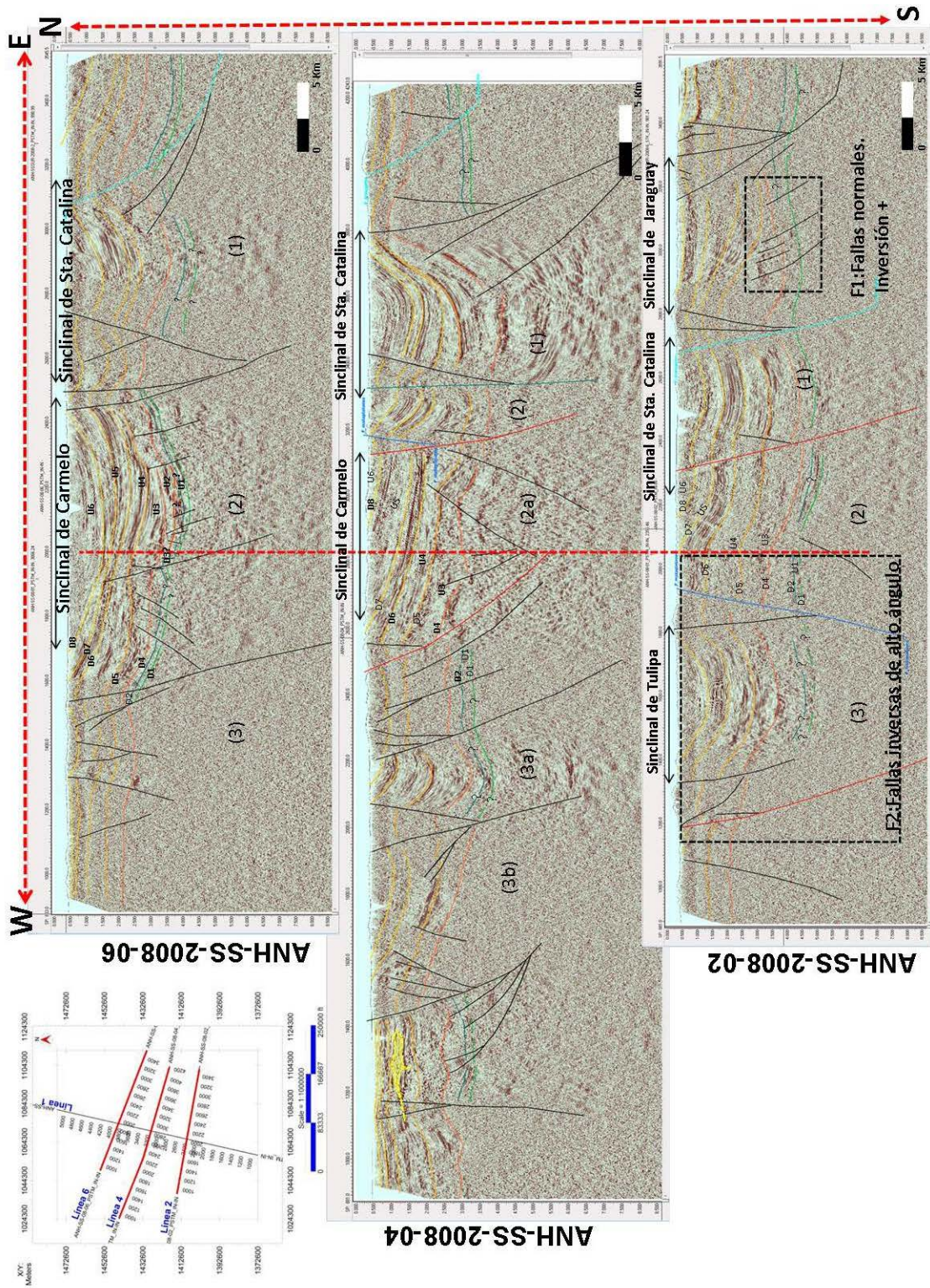


Figura 26. Estilos estructurales y geometrías de sub-cuencas dentro del CPS.

8.3.3. Diferentes Dominios Tectónicos del Programa Sinú Sur 2D 2008

Dentro del programa del Sinú Sur 2D 2008, se logran identificar tres (3) pequeñas sub-cuencas, geográficamente asociados a los sinclinales Jaraguay, Catalina-Carmelo, y Tulipa; separados por los fallas inversas de alto ángulo (de este a oeste) Almagrita, El Caimán-El Pozón, Mataplátanos y San Rafael. Estas cuencas evidencian depósitos contemporáneos a la sedimentación (Figura 26) que han sido fragmentados y desplazados por fallas rumbo deslizante, como San Juan y el Congo (de norte a sur).

La geometría de estas tres sub-cuencas, aparentemente muestran 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 26. Tal como lo esquematizan Cerón et al., (2005) al referirse a la cuña acrecionaria de Sinú.

8.3.4. Observaciones Importantes de los Horizontes y Unidades Sísmicas

La prospectividad en el área del CPS está asociada a las unidades U4, U5, U6 y U7, las cuales en los diferentes mapas mostrados (Figuras 19 a 23) no reflejan grandes estructuras ligadas a cierres estructurales. Lo cual no excluye, la prospectividad del área, debido a que la mayoría de las secuencias depositadas muestran contemporaneidad con la deformación, generando geometrías interesantes desde el punto de vista estratigráfico.

En relación a la a estructuras y al fallamiento inverso del área se ve afectado por diapirismo de lodo, que si bien es cierto replantean la búsqueda hacia los flancos del anticlinal, evitándose toparse con posibles zonas de diapiros, también es cierto que aseguran un sello estratigráfico, ver sección de prospectos.

Por otro lado la profundidad y baja resolución señal / ruido del programa sísmico Sinú Sur 2D 2008, no permitieron darle continuidad a los reflectores D1 al D3, a lo largo de la interpretación.

9. SÍSMICA MULTICOMPONENTE

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.

$$TWT_{ps} = \frac{TWT_p}{2} + \frac{d}{V_s} \quad (\text{ec. 1})$$

$$TWT_{ps} = \frac{TWT_p}{2} * \left(1 + \frac{V_p}{V_s}\right) \quad (\text{ec. 2})$$

$$\frac{V_p}{V_s} = 2 * \frac{TWT_{ps}}{TWT_p} - 1 \quad (\text{ec. 3})$$

Con base en lo antes 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. A continuación en la Figura 27, se ilustra el gráfico de dispersión de TWTp vs. TWTps.

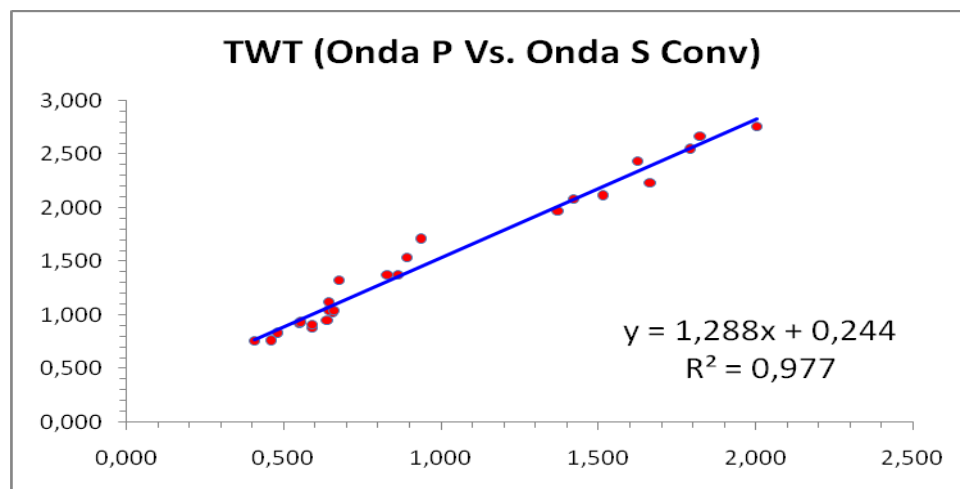


Figura 27. Gráfico cruzado de TWTp vs. TWTs.

En el gráfico cruzado de la Figura 27, se puede apreciar una tendencia lineal con un coeficiente de correlación positivo de 0,977; lo que indica que existe un vínculo entre ambas variables con un bajo nivel de dispersión. Esto permite ajustar un modelo lineal para predecir el TWTs 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 V_p/V_s 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. A continuación se presentan ejemplos de las dos primeras ventajas para el levantamiento sísmico Sinú Sur 2D 2008.

Las reflexiones fuera del plano son aquellos eventos en tiempo que no corresponden a reflexiones provenientes del plano x-t formado por la línea 2D. Estas reflexiones enmascaran en ocasiones a los eventos sísmicos de interés y complican su definición vertical y lateral. La Figura 28 muestra un ejemplo de este efecto en una línea PP y su eliminación en la sección PS.

En la Figura 29 se observan las relaciones S/R complementarias; es decir, lo que en una sección PP parece ruido en la PS representa señal y viceversa.

Reflexiones fuera del plano:

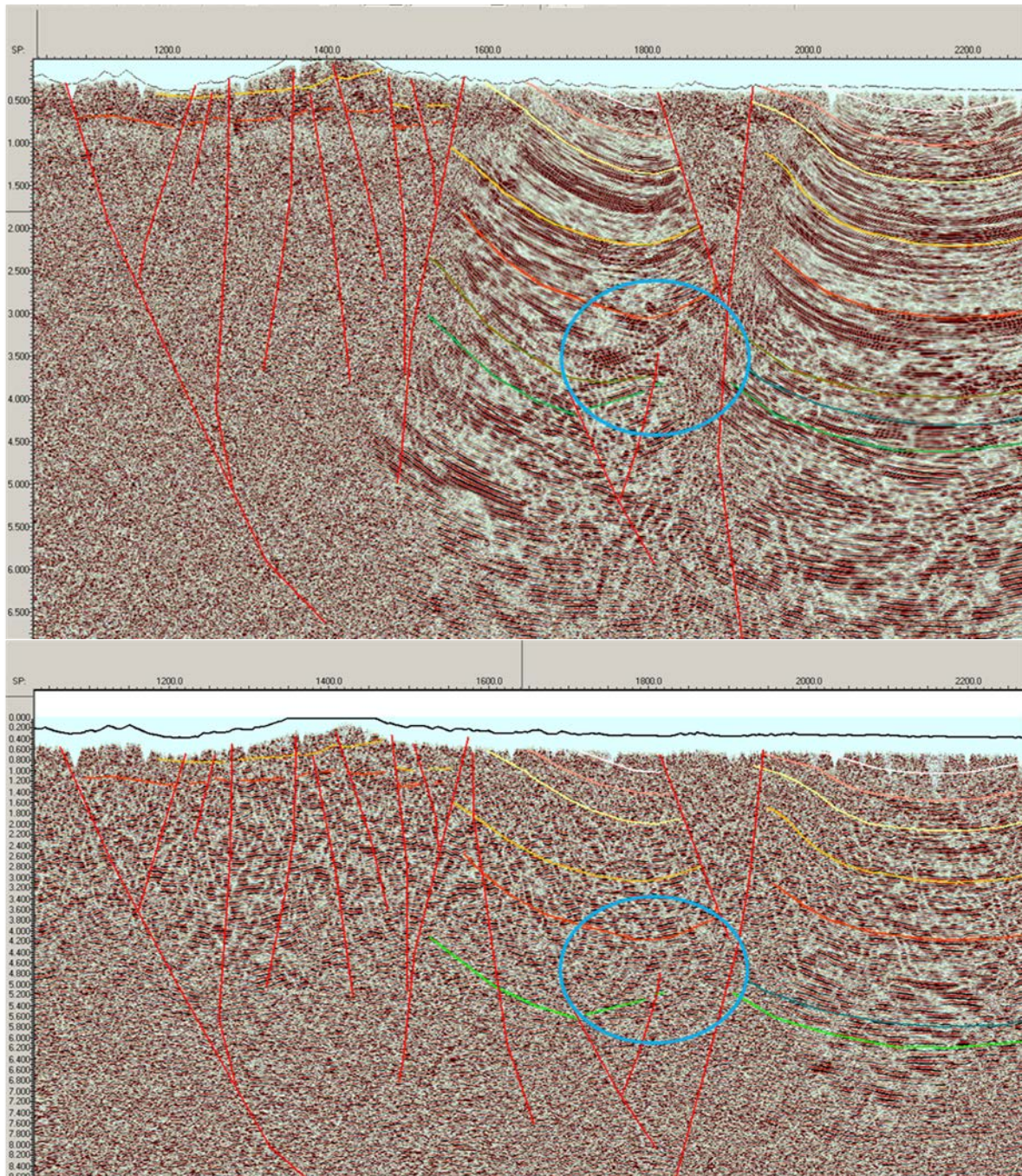


Figura 28. Eliminación de reflexiones fuera del plano para la onda P (círculo azul). Sección de onda P (arriba) y onda PS (abajo). Líneas ANH-SS-08-01_PSTM_IN-IN y ANH-SS-2008-01_PSTM_ONDA_CONV (Sinú Sur 2D 2008).

Se complementan las relaciones S/R:

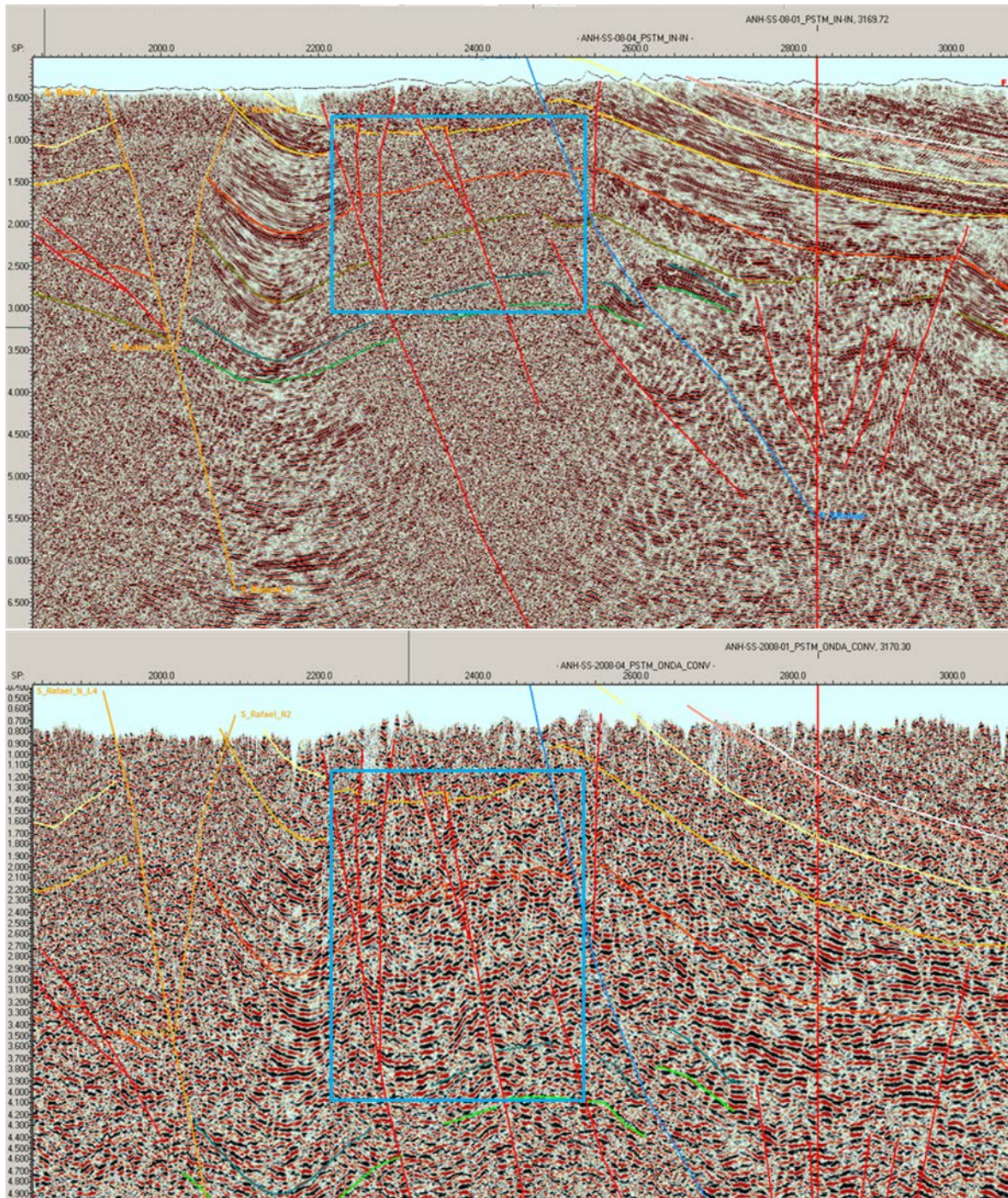


Figura 29. Relaciones S/R complementarias (rectángulo azul). Lo que en una sección es ruido en la otra es señal y viceversa. Líneas ANH-SS-08-04_PSTM_IN-IN y ANH-SS-2008-04_PSTM_ONDA_CONV (Sinú Sur 2D 2008).

9.2 INVERSIÓN ACÚSTICA P

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 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: permitirá 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 solo se utilizó el pozo Arboletes 1X para la construcción del modelo inicial. El resto de los pozos no poseen o no tienen disponible sus correspondientes registros.
- Sísmica apilada.
- Ondícula extraída de la sísmica.

En la Figura 30 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 es convolucionada 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.

Es importante resaltar que la primera inversión se realizó sobre la línea ANH-SS-08-01, el modelo inicial de impedancia se construyó con base en la proyección del pozo Arboletes 1X sobre la misma línea. Los modelos iniciales de las otras líneas de Sinú Sur 2D 2008 se generaron utilizando las trazas de impedancia acústica obtenidas de la inversión de la línea ANH-SS-08-01 en la intercepción con cada una de las líneas restantes.

En la Figura 31 se muestra el modelo inicial de impedancia acústica generado para la inversión acústica PP de la línea ANH-SS-08-01 de Sinú Sur 2D 2008. Este atributo de impedancia fue de gran ayuda para la identificación de posibles zonas de interés exploratorio que serán mostrados 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.

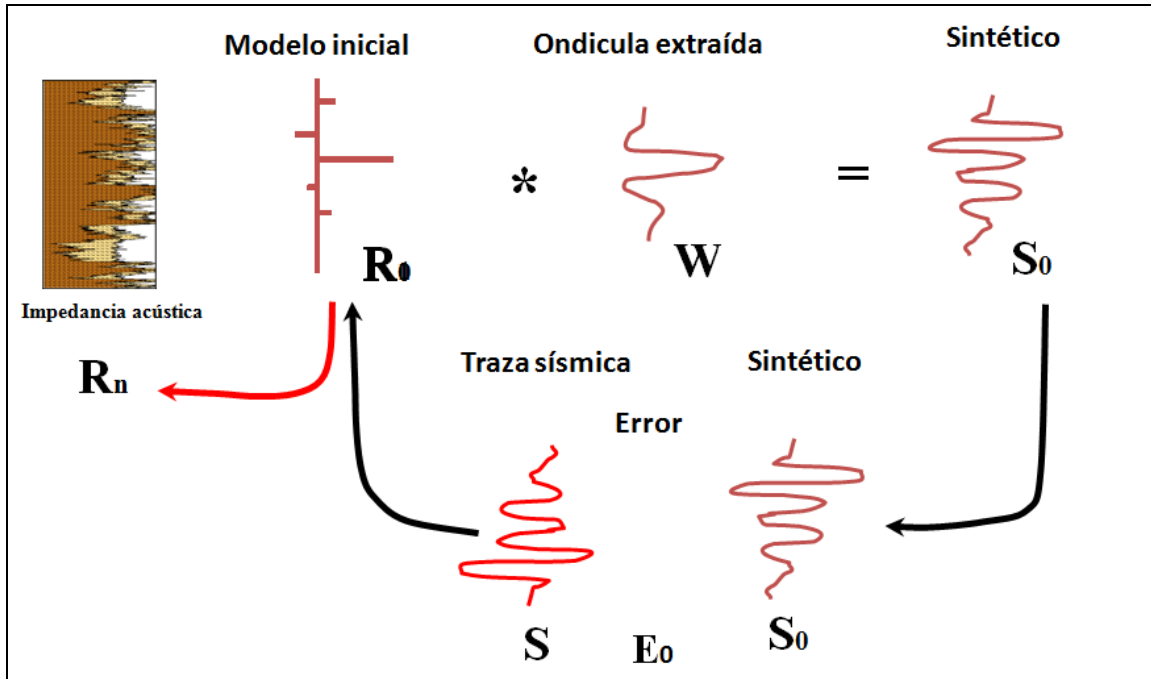


Figura 30. Diagrama de flujo de una inversión acústica basada en un modelo.

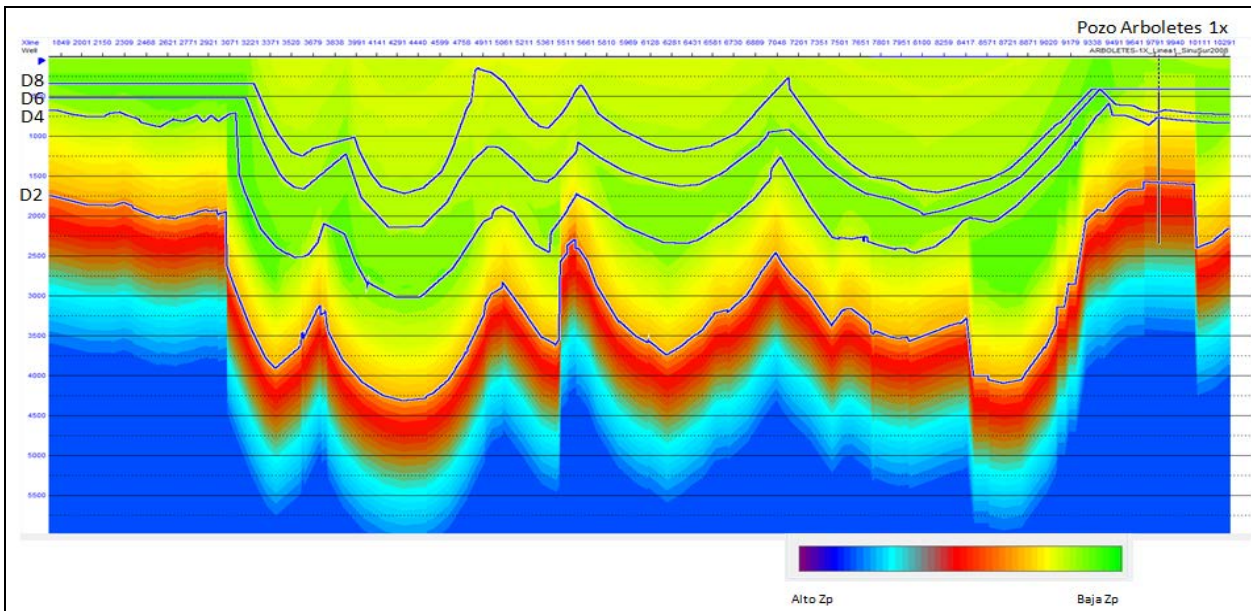


Figura 31. Modelo inicial de impedancia acústica utilizado para la inversión acústica de la línea 1 de Sinú Sur 2D 2008. Asimismo se muestran los horizontes usados para la construcción de dicho modelo.

9.3 INVERSIÓN SÍSMICA MULTICOMPONENTE (Zp, D)

La sísmica multicomponente consiste en 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 32.

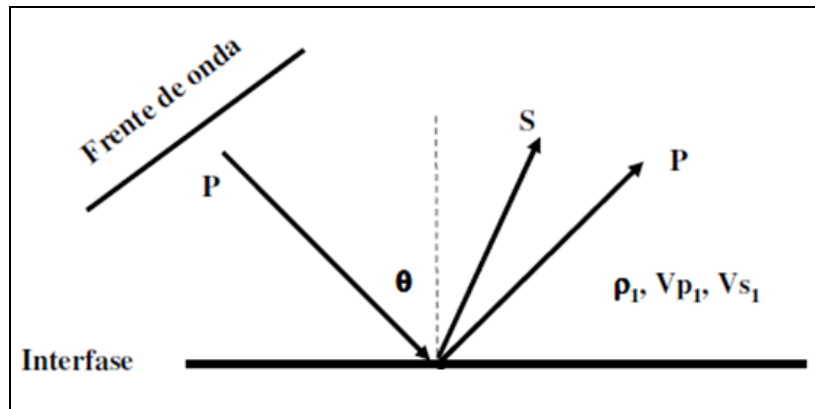


Figura 32. Propagación de onda PP y onda convertida (PS).

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, entre otras.

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 de pozo e interpretación estructural 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: estos permitirán incorporar el modelo estructural inicial al proceso de inversión.
- Registros de pozo sísmico y densidad, para cada uno de los pozos calibrados con la sísmica. En el caso particular de este proyecto se utilizó el pozo Arboletes 1X para la construcción del modelo inicial sobre la línea ANH-SS-08-01. Para el resto de las líneas del programa se usaron los resultados de inversión de la línea ANH-SS-08-01 (justo en la intercepciones) El resto de los pozos no poseen o no tienen disponible sus correspondientes registros.
- Sísmica apilada.
- Ondícula extraída de la sísmica.

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 éste y la sísmica sean suficientemente similares. La diferencia de esta inversión es que no es solo un modelo inicial de Impedancia P sino que también involucra un modelo de impedancia S y densidad; así como también realiza dos 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. 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 dato 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 a través del cual 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

En éste se identificaron un total de nueve (9) zonas de interés, distribuidas espacialmente en diferentes unidades sismo-estratigráficas interpretadas y presentan diversos tipos de trampas del sistema petrolero. Para la identificación y clasificación de los mismos se consideraron los siguientes parámetros:

- Existencia de cierre estructural a nivel de mapas en las unidades objetivo: En esta zona de estudio se debe tener sumo cuidado porque la gran mayoría de altos estructurales están asociados a diapirismo donde la relación señal-ruido de la sísmica es bastante bajo.
- 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 prospectos y *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.

Tres (3) principales niveles objetivo fueron identificados para la generación de prospectos, el primero de ellos y más profundo corresponde a la **Unidad 3 (Fm. Pavo)**, seguidamente se tiene la **Unidad 4 (asociada a la Fm. Floresanto)** y por último el nivel más somero correspondiente a la **Unidad 5 (Fm. Pajuil)**. Cabe resaltar que según Caro y Rey (2009), las arenas de esta última formación (Pajuil) resultaron contenedoras de aceite de 51 API durante las pruebas de producción del pozo Floresanto-1. Adicional a este campo, se tiene conocimiento de la existencia del campo Jaraguay Norte, el cual produjo aproximadamente 17 BPPD de aceite de 47 API durante un año, sin embargo, se desconoce cuál fue el intervalo reservorio.

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 *leads* estratigráficos observados en una sola línea y que no muestran cierre estructural

La Figura 33 muestra el mapa base con las cuatro (4) líneas de Sinú Sur 2D 2008 y la distribución espacial de los diferentes prospectos.

Asimismo se pueden observar en las Figuras 34, 35 y 36, los mapas estructurales para los tres (3) niveles objetivo con los prospectos superpuestos, nótese que los prospectos se muestran o no en cada mapa dependiendo de si son nivel objetivo en el mismo, de esta forma un prospecto puede estar mostrado en uno o varios mapas dependiendo de si tiene sus niveles objetivo. Se destaca como los prospectos A4, A7, B1 y C1, poseen cierre estructural en las cuatro (4) direcciones en sus respectivos niveles de interés; todos ellos son considerados como prospectos de color verde, ya que adicional a esto presentan cierta continuidad de reflectores en los niveles de interés y anomalías claras de bajas impedancias, posiblemente asociadas a presencia de hidrocarburos. El resto de los prospectos no presentan cierre estructural, sin embargo se debe recordar que estas líneas son regionales por lo que un

estudio más detallado con adicional información sísmica podría aumentar el potencial de estos prospectos.

Es importante resaltar que muchos altos estructurales con cierres en las cuatro (4) direcciones fueron identificados en los diversos mapas en tiempo, sin embargo no son considerados como zonas de interés por la alta probabilidad de estar asociados a diapiros. Por el contrario, uno de los *plays* que han sido más considerados para esta cuenca se ubica justo en los flancos de dichos diapiros, donde se acuñan los reflectores.

A continuación se darán a conocer algunos de los *leads* que poseen menor grado de incertidumbre, los cuales fueron identificados en este proyecto.

Tabla 5. Leads identificados en la zona de estudio Sinú Sur 2D 2008.

NOMBRE	OBJETIVO	TIPO DE TRAMPA	ÁREA APROX.	EVALUACIÓN
A2	Unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estratigráfica	11 km ²	
A4	Unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural	8 km ²	
A5	Unidad 4 (Fm. Floresanto) y unidad 5 (Fm. Pajuil)	Estructural-estratigráfica	11 km ²	
A6	Unidad 3 (Fm. Pavo), Unidad 4 (Fm. Floresanto) y Unidad 5 (Fm. Pajuil)	Estructural-estratigráfica	16 km ²	
A7	Unidad 3 (Fm. Pavo) y Unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural	66 km ²	
A8	Unidad 3 (Fm. Pavo) y unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural	24 km ²	
B1	Unidad 4 (Fm. Floresanto) y Unidad 3 (Fm. Pavo)	Estructural-estratigráfica	32 km ²	
C1	Unidad 4 (Fm. Floresanto) y Unidad 5 (Fm. Pajuil)	Estructural	38 km ²	
D1	Unidad 3 (Fm. Pavo) y unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural-estratigráfica	24 km ²	

■ Grado Alto de Incertidumbre
 ■ Grado Medio de Incertidumbre
 ■ Grado Bajo de Incertidumbre

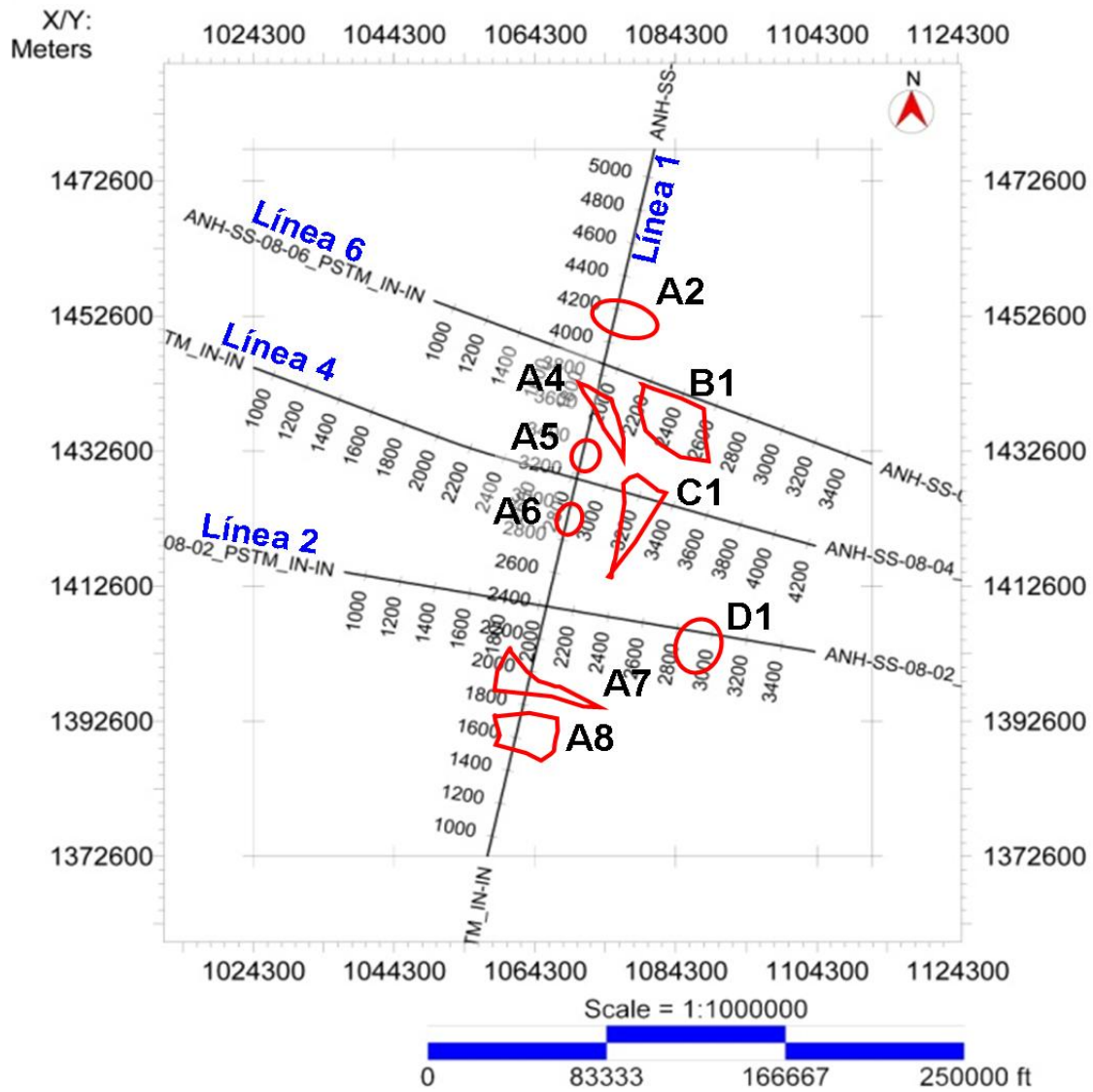


Figura 33. Mapa base mostrando las líneas sísmicas disponibles de la zona de estudio y los Leads definidos en el presente trabajo.

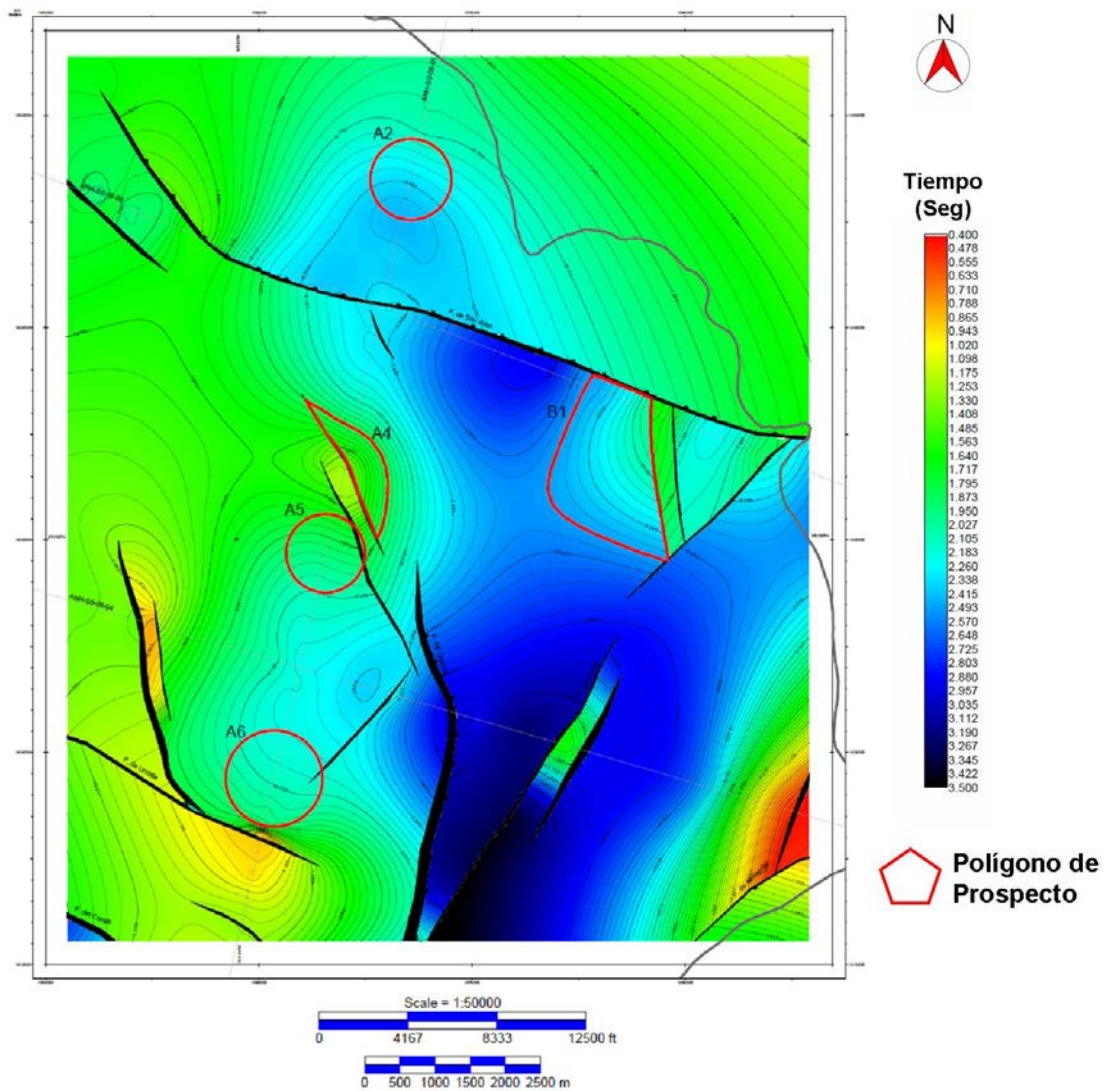


Figura 34. Mapa del Horizonte D5 (Asociado a la Base Mioceno? - Base Fm. Floresanto), los polígonos representan los *leads* superpuestos identificados en este nivel (A2, A4, A5, A6 y B1).

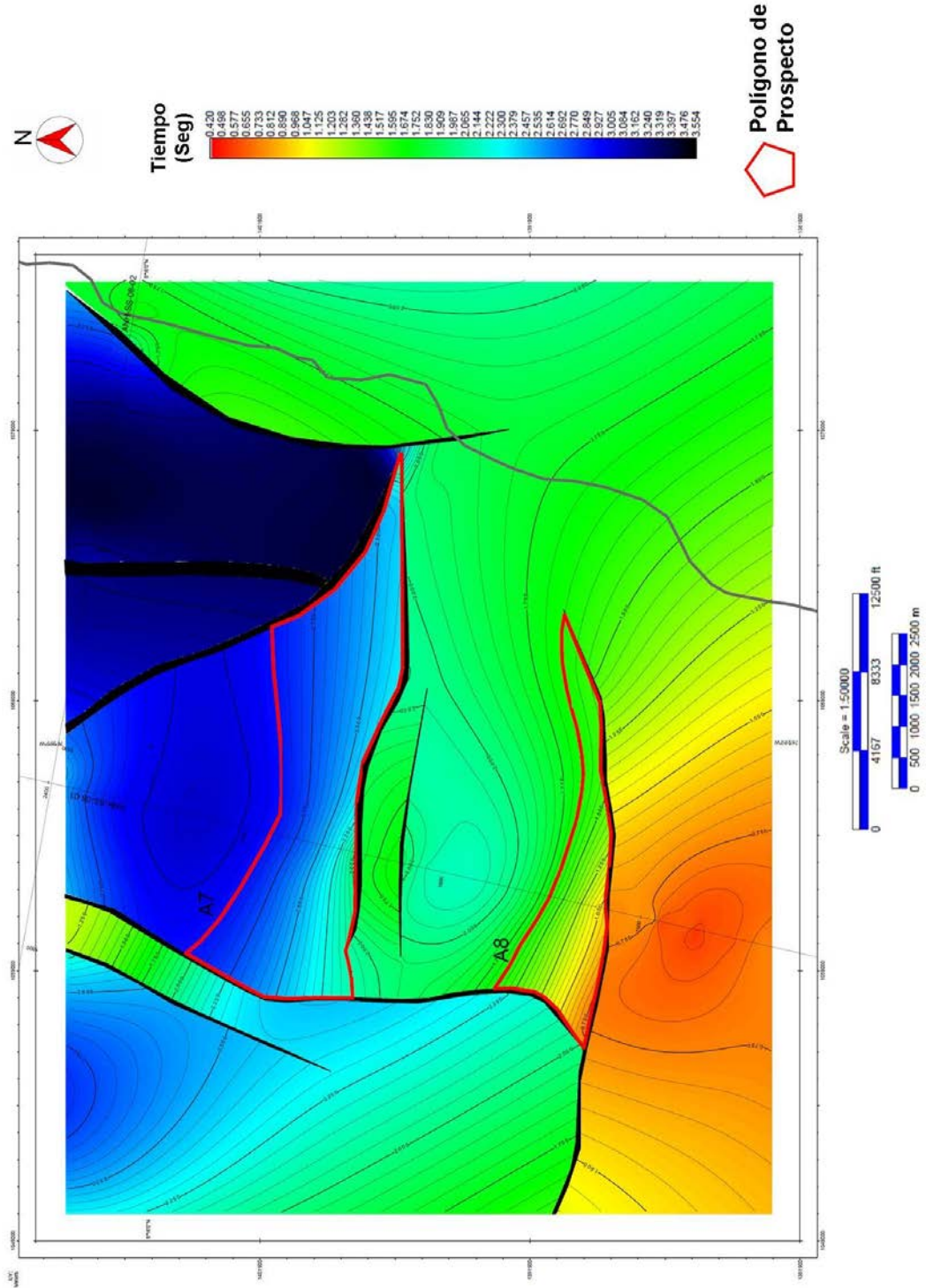


Figura 35. Mapa del Horizonte D5 (Asociado a la Base Mioceno? - Base Fm. Floresanto), los polígonos representan los *leads* superpuestos identificados en este nivel (A7 y A8).

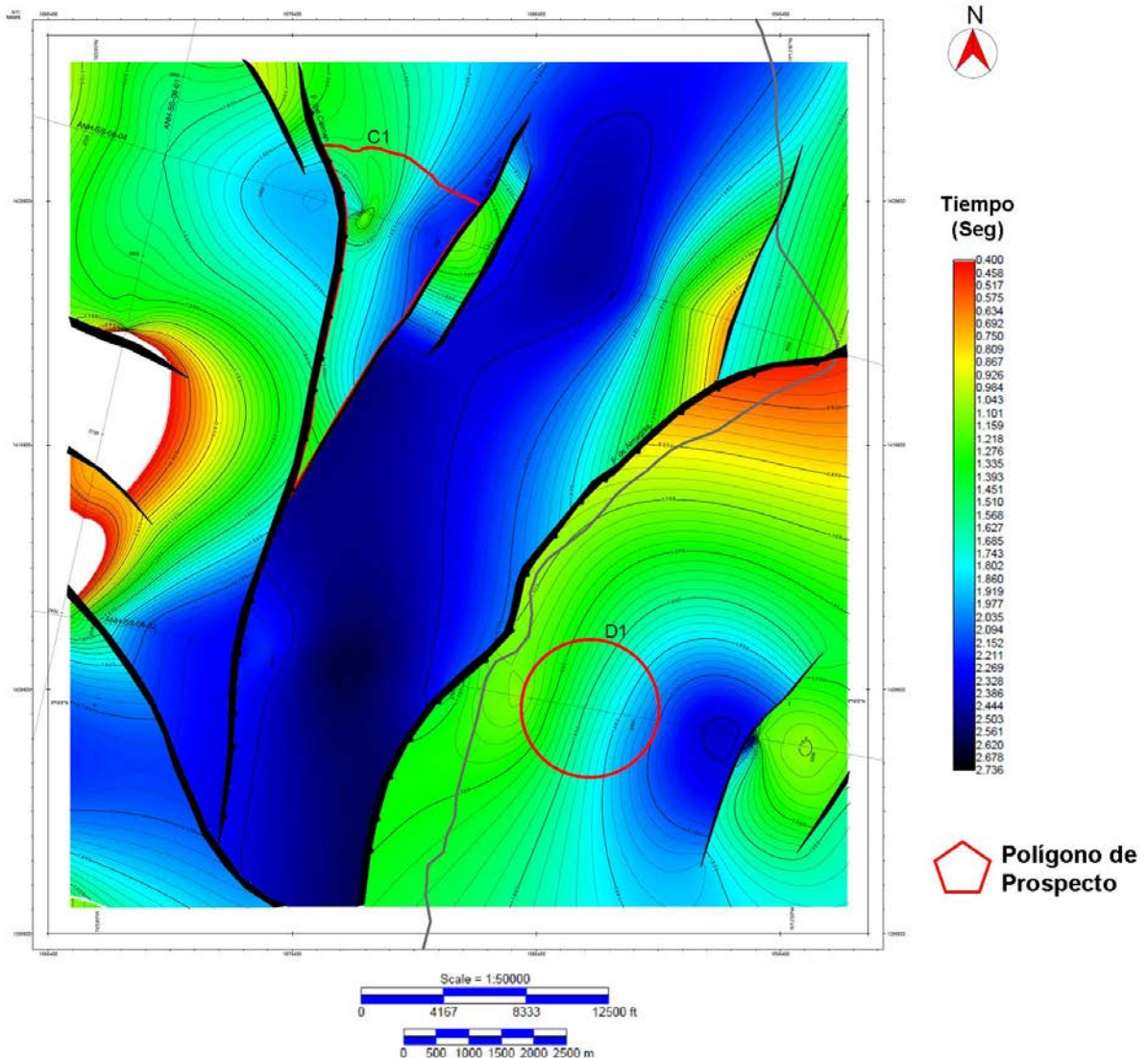


Figura 36. Mapa del Horizonte D6 (Asociado a la Base Mioceno medio? - Base Fm. Pajuil), los polígonos representan los *leads* superpuestos identificados en este nivel (C1 y D1).

En la Figura 37 se muestran los perfiles de amplitud sísmica e impedancia acústica de la línea 1 con los *leads* definidos: **A2 y A4**. Entre estos *leads* se destaca el A4, el cual presenta un cierre estructural en las cuatro (4) direcciones. El tipo de trampa de este *lead* es estructural, justo en el flanco del sinclinal contra un posible diapiro de lodo ubicado al Sur. El objetivo principal corresponde a la unidad 4 posiblemente la Fm. Floresanto. En el perfil de impedancia acústica se puede observar claramente una anomalía de baja impedancia (color naranja) asociada a este *lead*, lo cual ofrece un mayor potencial exploratorio.

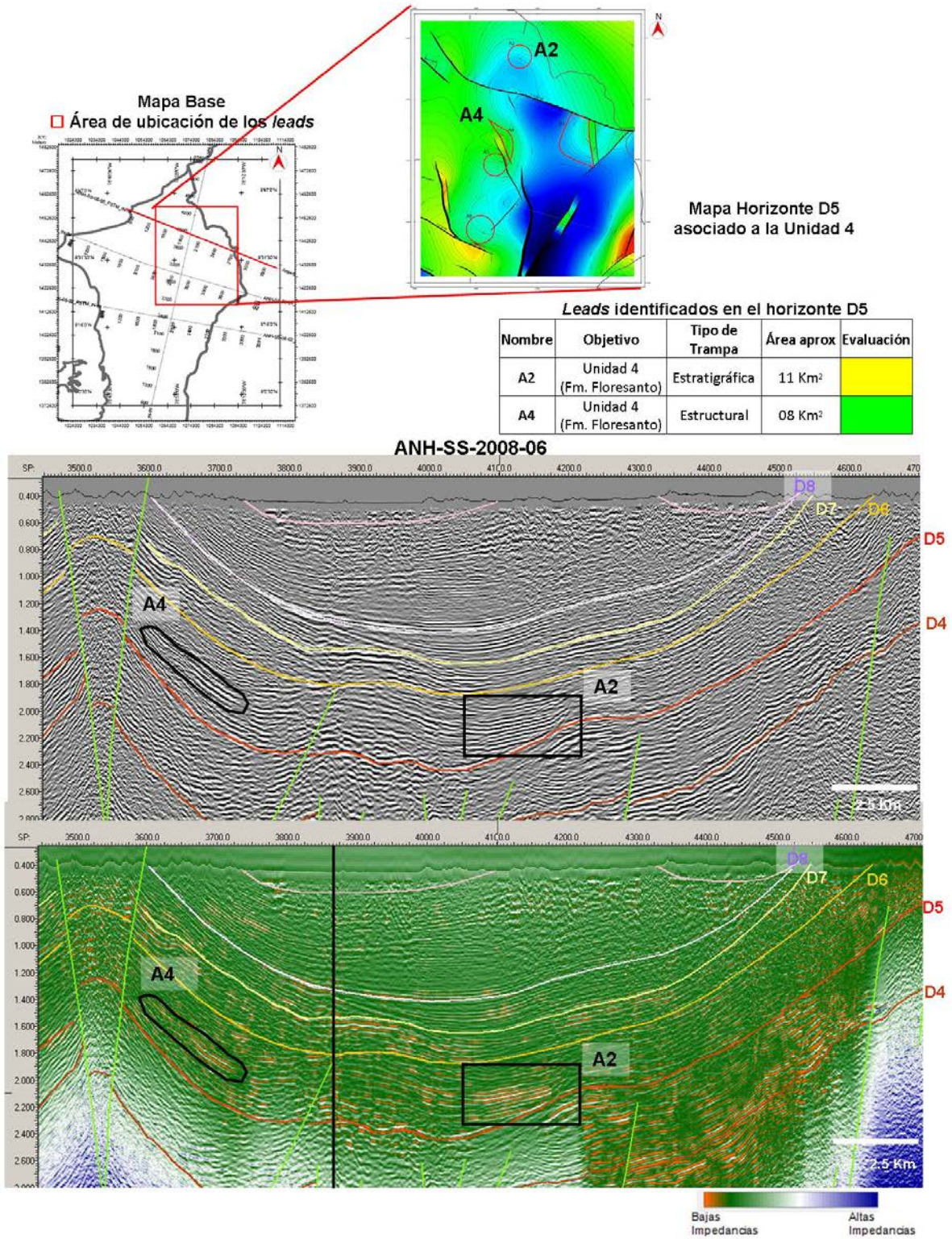


Figura 37. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads A2 y A4.

Otra zona de interés que ha sido identificada en este proyecto es el **lead B1**, el cual se observó en la línea 6 de Sinú Sur 2D 2008. En la Figura 38 se puede observar los perfiles de amplitud sísmica e impedancia acústica mostrando el *lead* B1, el objetivo principal corresponde a la Fm. Floresanto y se destacan algunas terminaciones tipo *onlaps* contra el horizonte D5 (discordancia de la base del Mioceno temprano), las cuales presentan valores de impedancia bajos que podría ser asociado a la presencia de fluidos. Al observar el mapa estructural de la discordancia (horizonte D5) se puede observar un cierre estructural en las cuatro direcciones lo que sugiere una combinación de trampa estructural-estratigráfica.

Luego del análisis de la sección PS de la línea 6 se pudo evidenciar un objetivo secundario (Figura 39) asociado a este *lead* B1 correspondiente a la unidad 3 (posiblemente Fm. Pavo). En el análisis multicomponente, en B1 no se identificaron anomalías de impedancia, únicamente anomalías de amplitud sísmica.

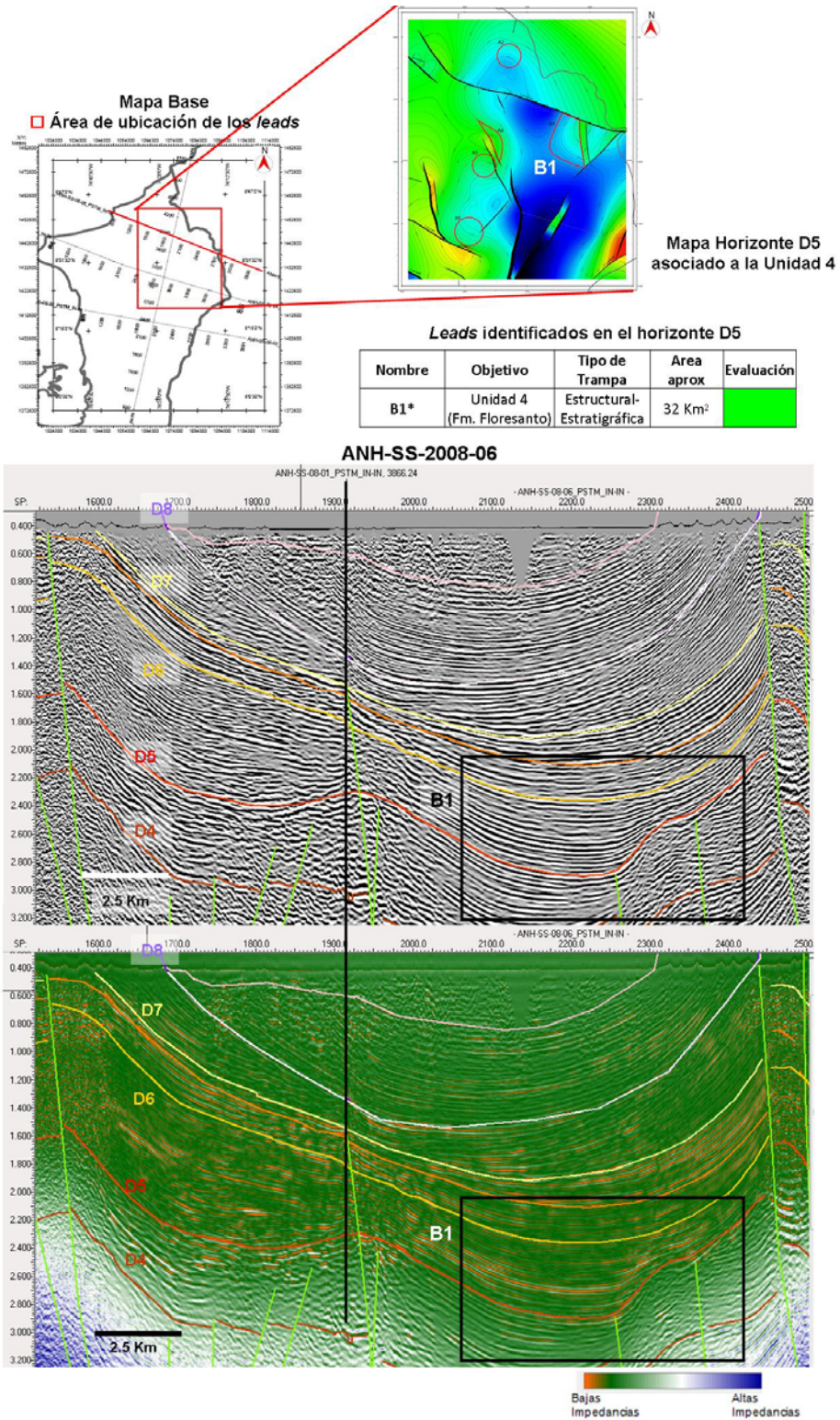
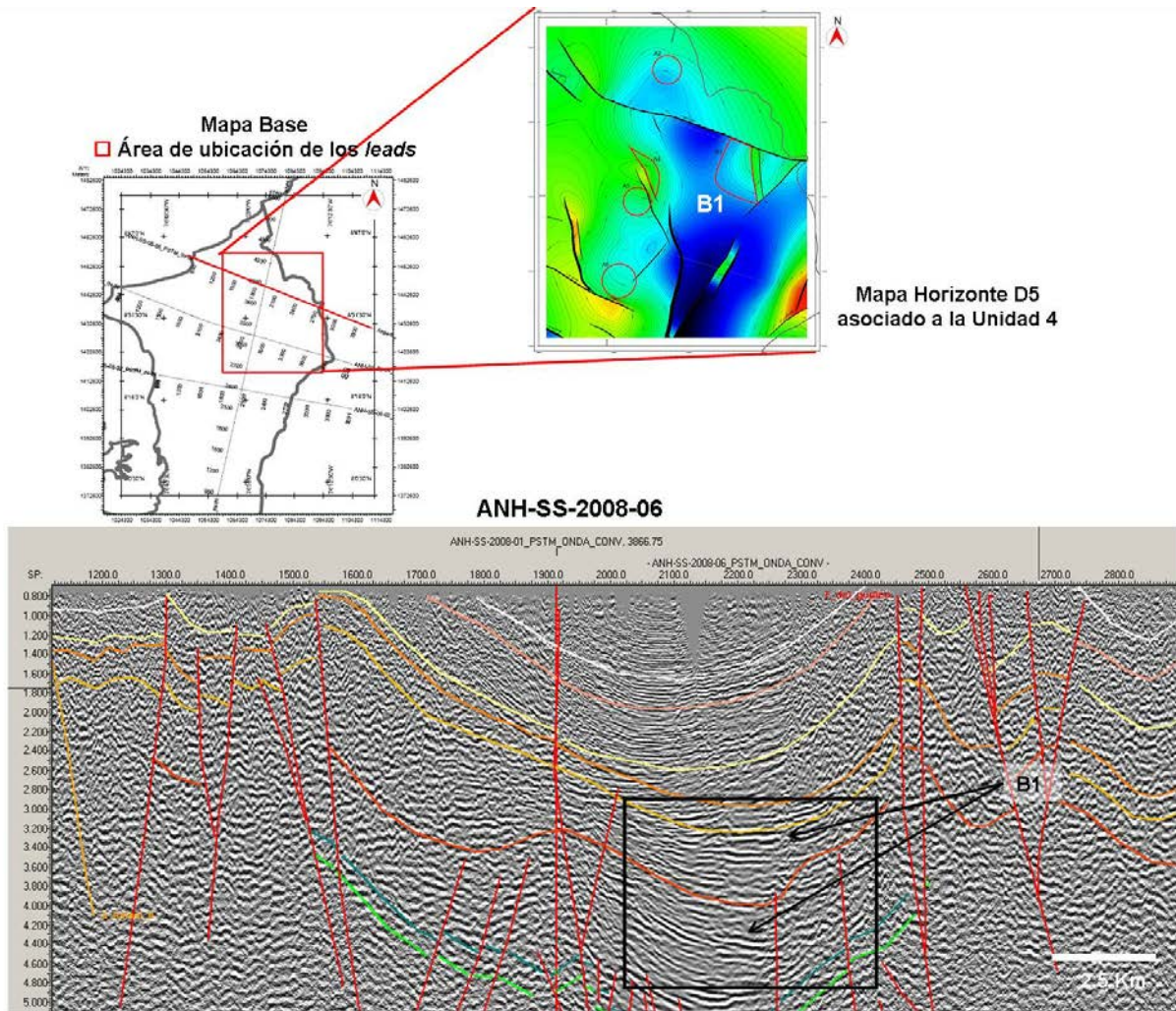


Figura 38. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando el Lead B1.

Prospecto B1

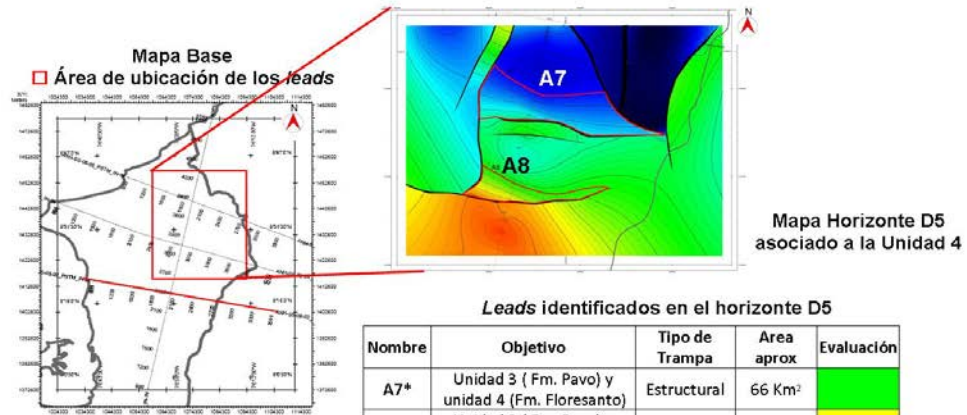


□ → Se identifico a partir del análisis de onda convertida un objetivo (asociado a Fm. Pavo) más profundo en el Lead B1.
 No se pudo observar una anomalía de baja impedancia clara, sin embargo los reflectores son bastante claros mostrando altas amplitudes

Figura 39. Prospecto B1 visto en la sección PS. Se observan las mismas anomalías de amplitud observadas en la sección PP.

La Figura 40 muestra los perfiles de amplitud sísmica e impedancia acústica al Sur de la línea ANH-SS-2008-01 con los **leads A7 y A8**, donde se destaca el primero de ellos presentando un cierre estructural en las cuatros direcciones tanto para las unidades 3 y 4 posiblemente asociadas a las formaciones Pavo y Floresanto respectivamente. Estos objetivos presentan zonas de muy baja impedancia (colores naranja en el perfil de impedancia). El tipo de trampa de este **lead** es estructural, justo en el flanco del sinclinal contra un posible diapiro de lodo localizado al Sur. Nótese que el **lead A8** no es considerado como prioritario porque no se pudo corroborar un posible cierre estructural del mismo en sus niveles objetivos.

El **lead A7** en la sección PS presenta las mismas características de amplitud sísmica y bajas impedancias que su análogo de onda PP. Estas amplitudes anómalas se acuñan buzamiento arriba contra la falla (Figura 41).



Leads identificados en el horizonte D5

Nombre	Objetivo	Tipo de Trampa	Area aprox	Evaluación
A7*	Unidad 3 (Fm. Pavo) y unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural	66 Km ²	Alta
A8	Unidad 3 (Fm. Pavo) y unidad 4 (Fm. Floresanto)	Estructural	24 Km ²	Alta

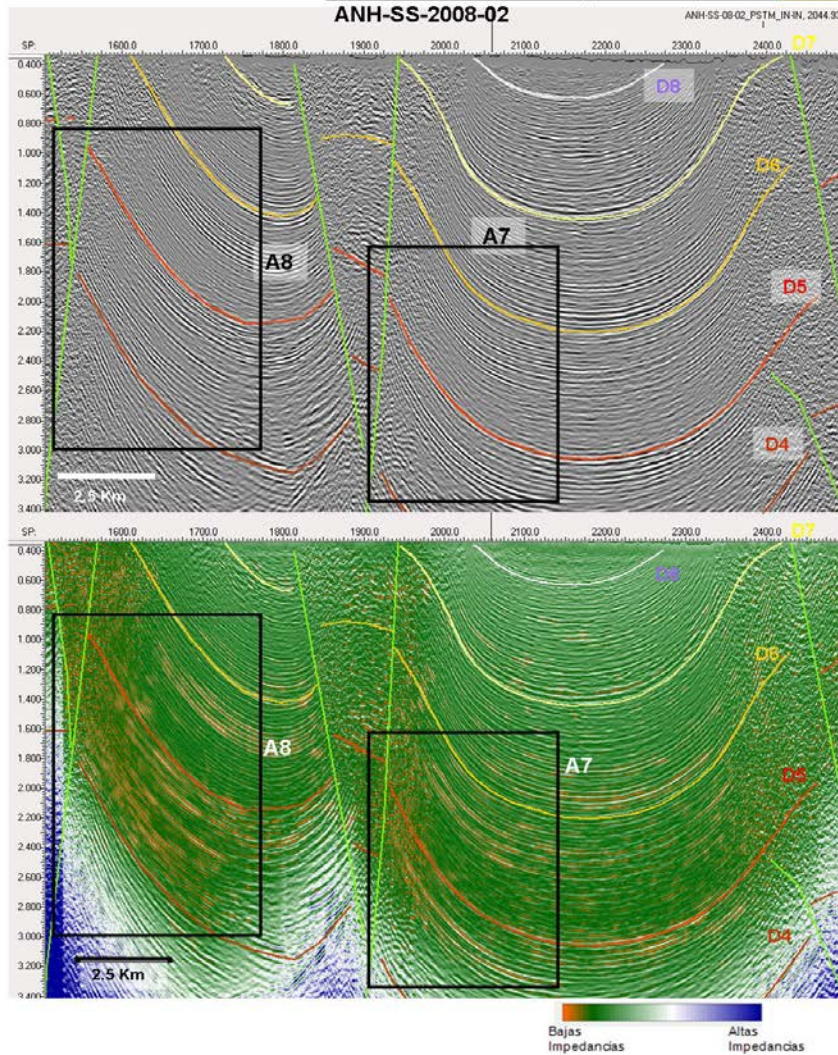


Figura 40. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando los Leads A7 y A8.

Lead A7

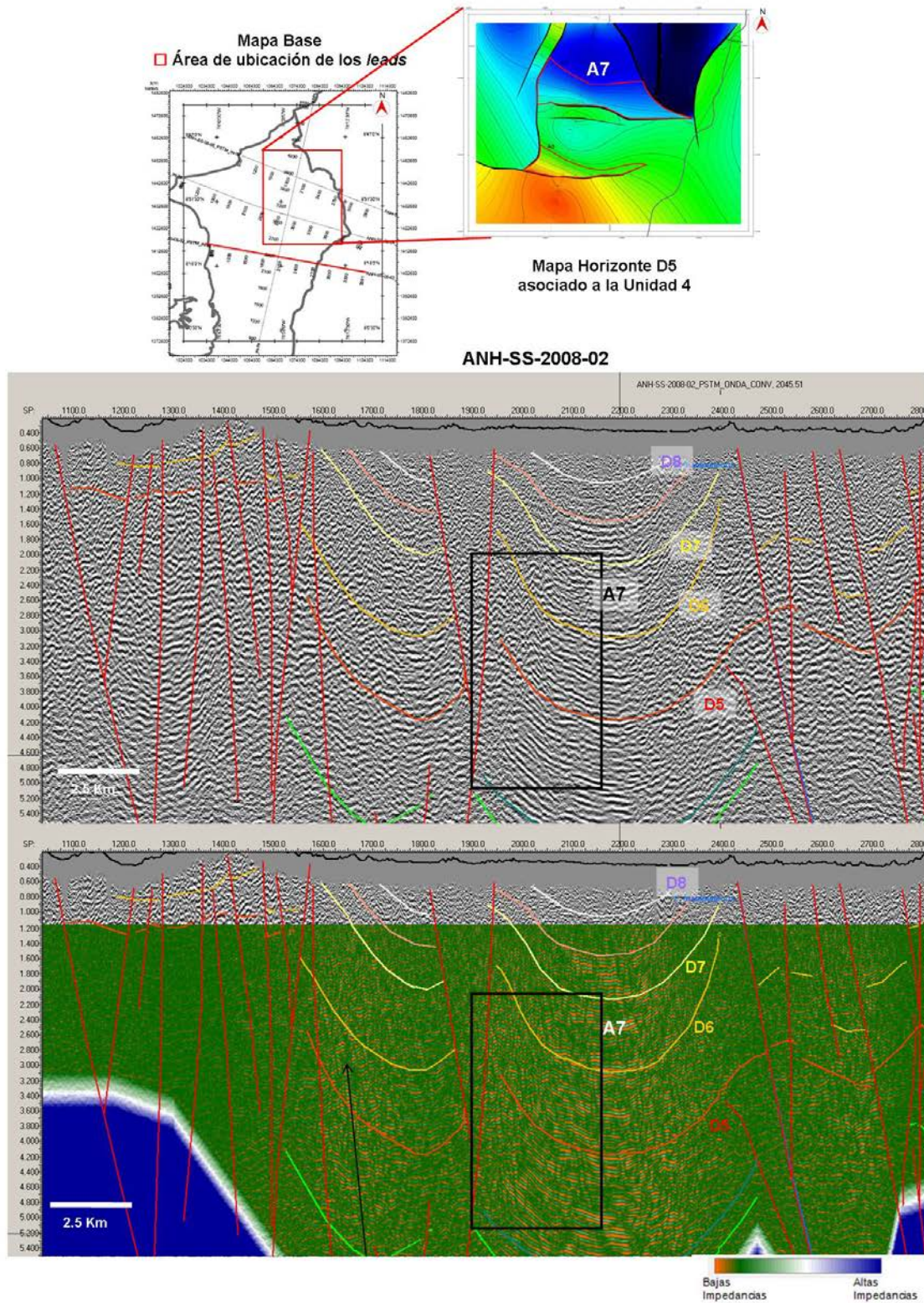


Figura 41. Anomalías de amplitud en la sección PS e impedancias bajas contra la falla.

Finalmente se muestra el **lead C1** en los perfiles de amplitud sísmica e impedancia acústica de la línea ANH-SS-2008-04 de Sinú Sur 2D 2008 en la Figura 42, donde se pueden observar dos (2) niveles con anomalías claras de baja impedancia por lo que los objetivos de esta zona de interés serían las unidades 4 y 5 posiblemente asociadas a las formaciones Floresanto y Pajuil respectivamente. El tipo de trampa de este *lead* es igual al mostrado anteriormente (*Lead A7*) estructural, justo en el flanco del sinclinal contra un posible diapiro de lodo. Es importante resaltar que este *lead* no presenta cierre en las cuatro (4) direcciones, sin embargo existe una gran posibilidad que la estructura cierre hacia el sureste donde las fallas que delimitan al *lead* convergen.

En la misma zona de la línea ANH-SS-2008-02, pero en la sección de onda convertida se pudieron identificar anomalías de impedancias de onda PS bajas, debajo de la discordancia dorada que define el límite superior de la Unidad Floresanto, aunque no presentan anomalías de amplitud sísmica llamativa contra la falla (Figura 43).

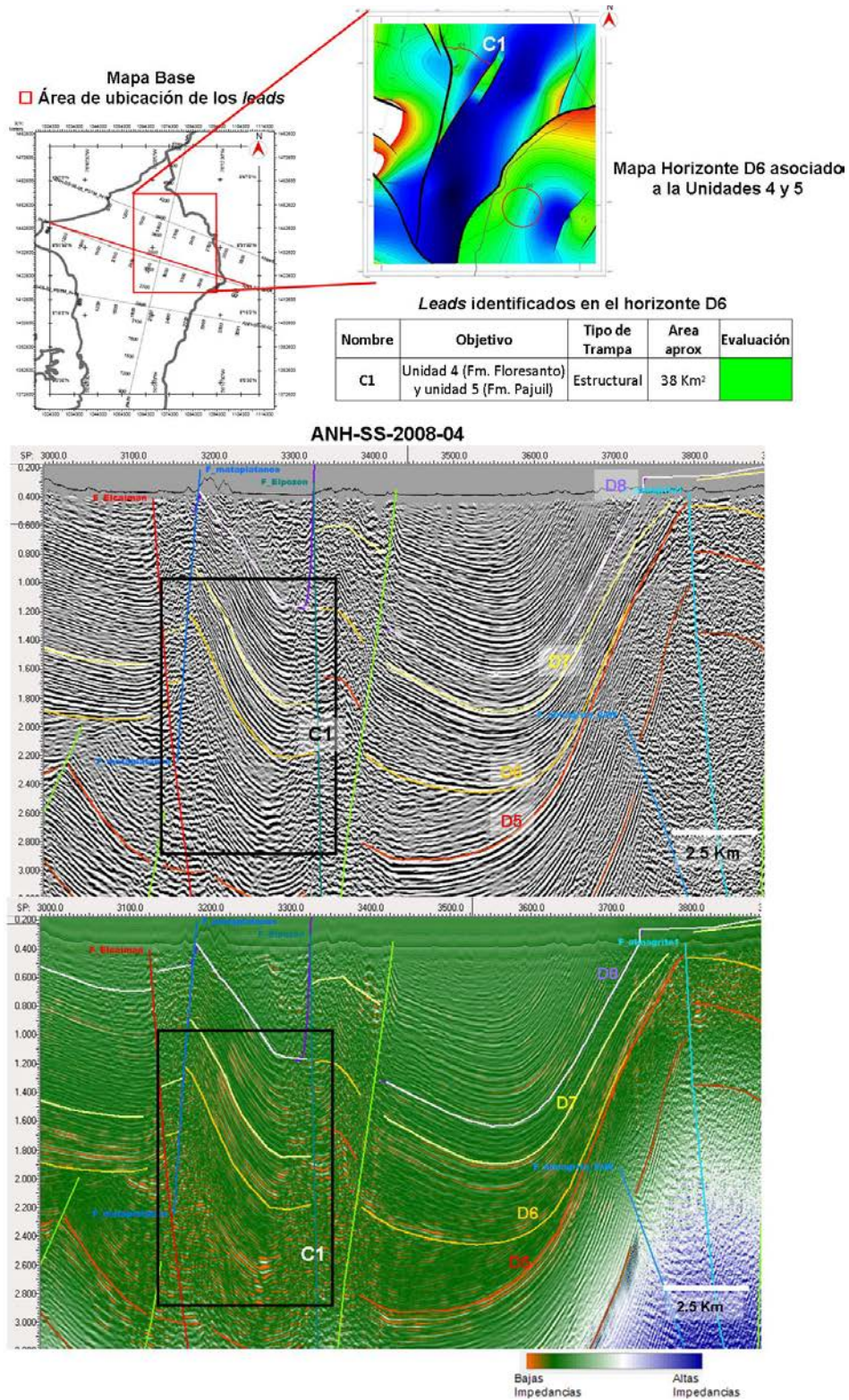


Figura 42. Perfiles de amplitud sísmica (arriba) e impedancia acústica (abajo) mostrando el Lead C1.

Zona de interés (Cercana a prospecto C1)

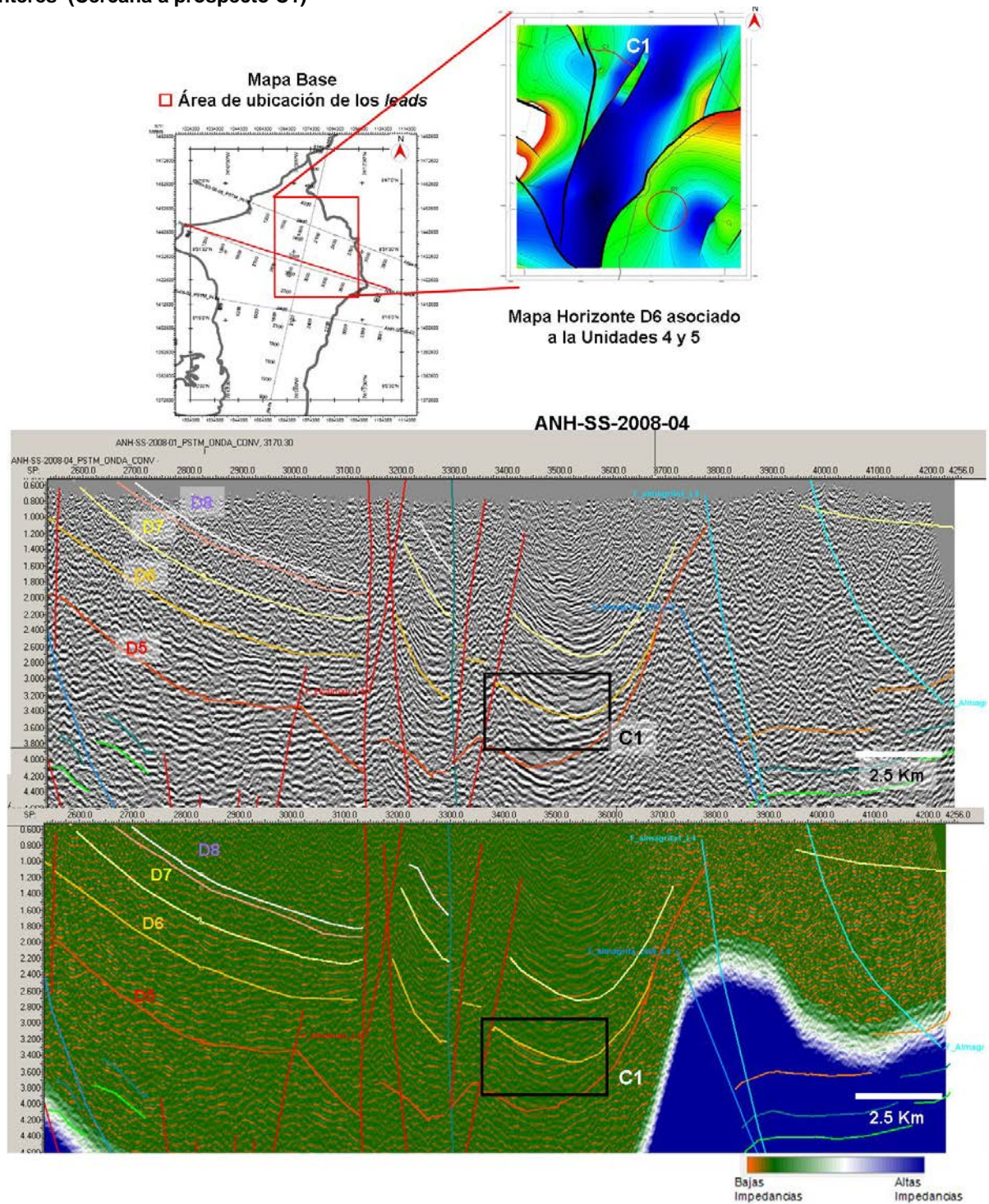


Figura 43. Zona de interés cercana al prospecto C1. Nótese la impedancia PS baja justo debajo de la discordancia señalada en el recuadro.

11. PRODUCTOS FINALES

EN MEDIO DIGITAL:

- 01. Informe Final de Interpretación (WORD y PDF)
 - 01.1. Anexos (WORD 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 1:100.000. Cantidad: cinco (5) mapas

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

ANEXO A3. Mapas Estructurales en Tiempo PS. Escala 1:100.000. Cantidad: cinco (5) mapas

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

ANEXO A5. Mapas de *Leads*. Escala 1:50.000. Cantidad: tres (3) mapas

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro del programa del Sinú Sur 2D 2008, se logran identificar tres (3) pequeñas sub-cuencas, geográficamente asociados a los sinclinales Jaraguay, Catalina-Carmelo, y Tulipa, separados por las fallas inversas de alto ángulo; Almagrita, El Caimán-El Pozón; Mataplátanos y San Rafael, de este a oeste. Estas cuencas que evidencian depósitos contemporáneos a la sedimentación han sido fragmentados y desplazados por fallas rumbo deslizante, como San Juan y el Congo (de norte a sur).

La geometría de estas tres (3) sub-cuencas, aparentemente muestran 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 lo esquematizan Cerón et al., (2005) se interpreta el CPS como la parte externa de una cuña acrecionaria de Sinú.

La deformación del área está asociada a un estilo estructural de fallas inversas de alto ángulo, propias de la transpresión (estructuras en flor+), y a fallas normales a nivel de las unidades U1, U2? y U3, con algunos bloques reactivados.

La prospectividad del área está asociada a las unidades U3, U4 y U5. Asociadas a una sedimentación contemporánea a la deformación. Los niveles objetivo se identificaron del más profundo al más somero en la Unidad 3 (Fm. Pavo), seguidamente se tiene la Unidad 4 (asociada a la Fm. Floresanto) y por último el nivel más somero correspondiente a la Unidad 5 (Fm. Pajuil).

Las estructuras y el fallamiento inverso en el área se ven afectados por diapirismo de lodo, que replantean la búsqueda de oportunidades hacia los flancos del anticlinal.

Los prospectos en Sinú Sur 2D 2008 son mixtos: Estructural – Estratigráficos, debido a que las unidades prospectivas (Pavo, Floresanto y Pajuil) se depositaron contemporáneas a la deformación.

13. REFERENCIAS

- ANH (2006). Compilación, *Análisis y Evaluación de Información Existente*. Bogotá, Colombia.
- CARO, M. y REY, C. (2009). *Principales características geológicas de la subcuenca del Sinú a partir de interpretación sísmica*. En: X 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*.
- DÍAZ, A., GUERRERO, E. y REY, C. (2009). *Proyecto Geofísico “Línea Regional Trasandina” en el Norte de Suramérica*. En: X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena, Colombia.
- 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 N°2, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- 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 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.
- REY, A. y RUBIANO, J. (2009). *Estratigrafía Secuencial para el Neógeno Superior en el Suroeste Offshore del Caribe Colombiano*. X Simposio Bolivariano exploración Petrolera en Cuenca Subandinas, Cartagena, Colombia.
- SANDWELL, D. y SMITH, W. (1997). *Seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings*: Science, v. 277, pp. 1957-1962.



SUÁREZ, L. (2009). *Estudio Geofísico Integrado en la subcuenca de Plato, VIM*. Tesis de MsC.