

Avances en los programas de exploración de hidrocarburos de YPFB en las cuencas sedimentarias de Bolivia, usando el método de prospección geofísica aérea SFD[®]

- Miguel Belmonte¹
- Olvis Padilla¹, George Liszicasz², Enrique Hung², Rashid Tippu²
 - 1: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB)
 - 2: NXT Energy Solutions Inc.
 - ehung@nxtenergy.com





Avances en los programas de exploración de hidrocarburos de YPFB en las cuencas sedimentarias de Bolivia, usando el método de prospección geofísica aérea SFD®

Con una estrategia para fomentar y acelerar la exploración de hidrocarburos en Bolivia, YPFB llevó a cabo la adquisición de 9.823 kilómetros de lineales de datos utilizando la tecnología de detección de campo de esfuerzos (SFD®/ Stress Field Detection). Esta tecnología aerotransportada utiliza sensores que responden a distorsiones sutiles del campo gravitacional, causadas por contrastes de densidad y esfuerzos en el subsuelo. Estos contrastes se asocian con áreas propicias para el entrapamiento de fluidos dentro de la columna sedimentaria.

La tecnología fue utilizada por YPFB con los siguientes objetivos:

- a. Evaluar la efectividad de la tecnología de SFD® con una prueba ciega sobre campos de producción conocidos.
- b. Identificar, confirmar y evaluar potenciales trampas y prospectos de reservorios en el subsuelo
- c. Identificar nuevas áreas prospectivas para futuros programas de exploración de hidrocarburos.

Parte del diseño del levantamiento cubrió 12 campos productores conocidos. SFD® identificó con éxito 11 de ellos. El campo no detectado tiene una extensión lateral de menos de 2 km. Adicionalmente, dos de tres localizaciones exploratorias de YPFB fueron confirmadas por anomalías SFD® en dos áreas exploratorias distintas. Adicionalmente el proceso de integración de los resultados SFD® en las áreas prospectivas fue utilizado para delimitar las oportunidades exploratorias existentes y encontrar áreas exploratorias adicionales.

Los resultados del levantamiento en Bolivia identificaron 16 áreas prospectivas SFD® de Primer Orden y 92 de Segundo Orden. Actualmente se continúa con integración de datos SFD® con datos geológicos y geofísicos con el propósito de generar y madurar prospectos de exploración. Este proceso contribuye para asegurar y promulgar un flujo sostenible de recursos energéticos necesarios para satisfacer las demandas nacionales e internacionales.

Sistema de adquisición SFD®

Para el levantamiento de datos SFD® se utiliza un Jet Citation de la serie 560 equipado con múltiples sensores para cumplir con los requisitos del estudio. Vuela a una alta velocidad de (500 km / h) y a una altitud de 3,000 metros

Los sensores SFD®

Tres sistemas de múltiples sensores

DAQ

2,000 muestras/segundo/sensor

GPS

Monitorea las líneas de vuelo



Qué es SFD® ?

- ✓ SFD® es un **transductor mesoscópico** que representa a una nueva clase de instrumentos geofísicos aerotransportados basados en la gravedad
- ✓ Su mecanismo de **detección** único utiliza sensores en **movimiento** para interactuar **dinámicamente** con el **campo gravimétrico**, haciendo la detección de anomalías de gravedad **dependientes del tiempo** y **selectiva**
- ✓ SFD® responde a las **discontinuidades** donde la distribución de **esfuerzo** y **densidad** varía notablemente a **escalas de reservorio** de las rocas circundantes.

Estudio SFD®, YPFB 2015

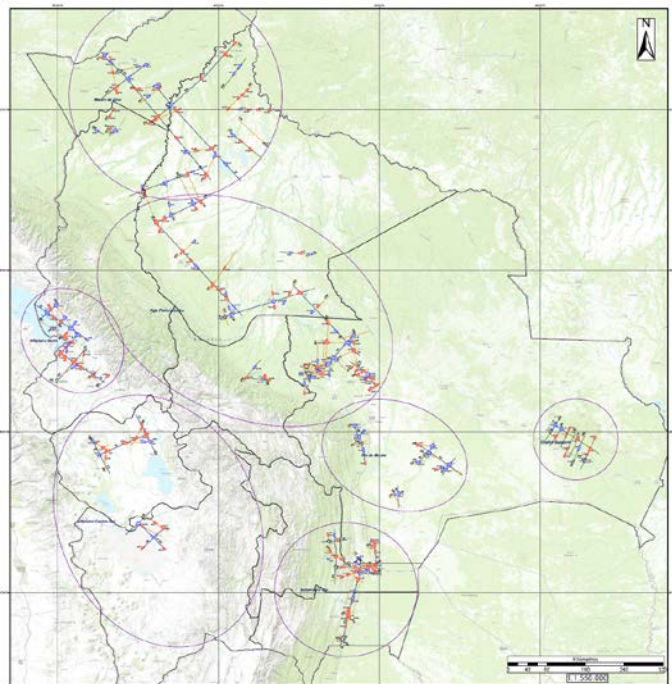
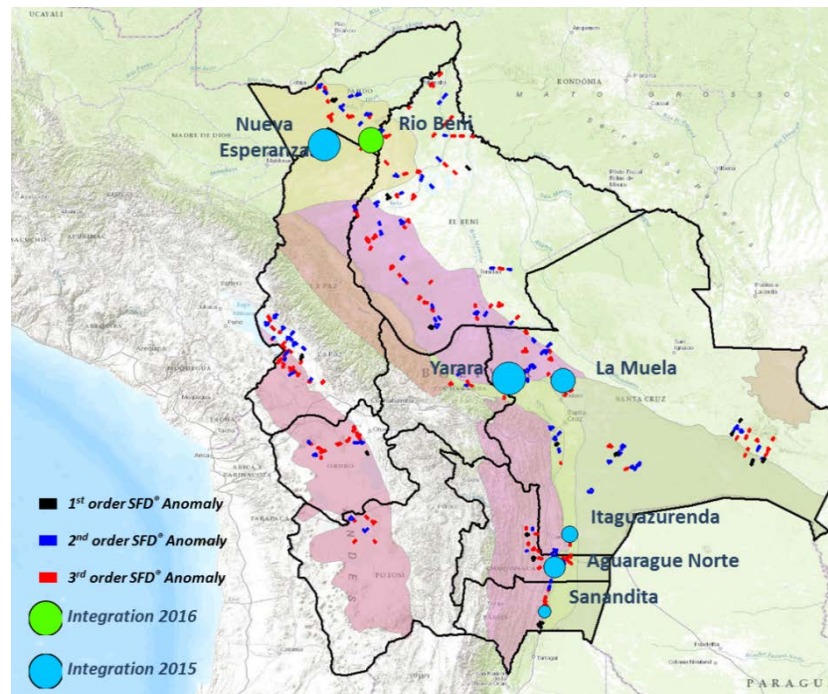


TABLA RESUMEN ANOMALIAS SFD® DE 1ER ORDEN*			
Anomalia SFD®	Play Exploratorio	Campo	No Campo
1	1.1.1 Altiplano Norte		X
2	2.1.1 Altiplano Centro-Sur		X
3	3.1.1 Subandino Sur	X	
4	3.1.2 Subandino Sur		X
5	3.1.3 Subandino Sur		X
6	4.1.1 Pie de Monte		X
7	4.1.2 Pie de Monte	X	
8	5.1.1 Faja Pericratonica		X
9	5.1.2 Faja Pericratonica		X
10	6.1.1 Madre de Dios		X
11	6.1.3 Madre de Dios		X
12	6.1.2 Madre de Dios		X
13	7.1.1 Craton Guapore		X
14	7.1.2 Craton Guapore		X
15	7.1.3 Craton Guapore		X
16	7.1.4 Craton Guapore		X

- ✓ 9,823 Kilómetros lineales de datos SFD® adquiridos.
- ✓ 16 Anomalías de Primer Orden identificadas
- ✓ Tiempo de ejecución del Proyecto 5 meses
- 7 Plays Exploratorios.
- ✓ 14 Prospectos identificados
- ✓ 11 de 12 Campos existentes confirmados

Integración SFD® – Proyectos YPFB



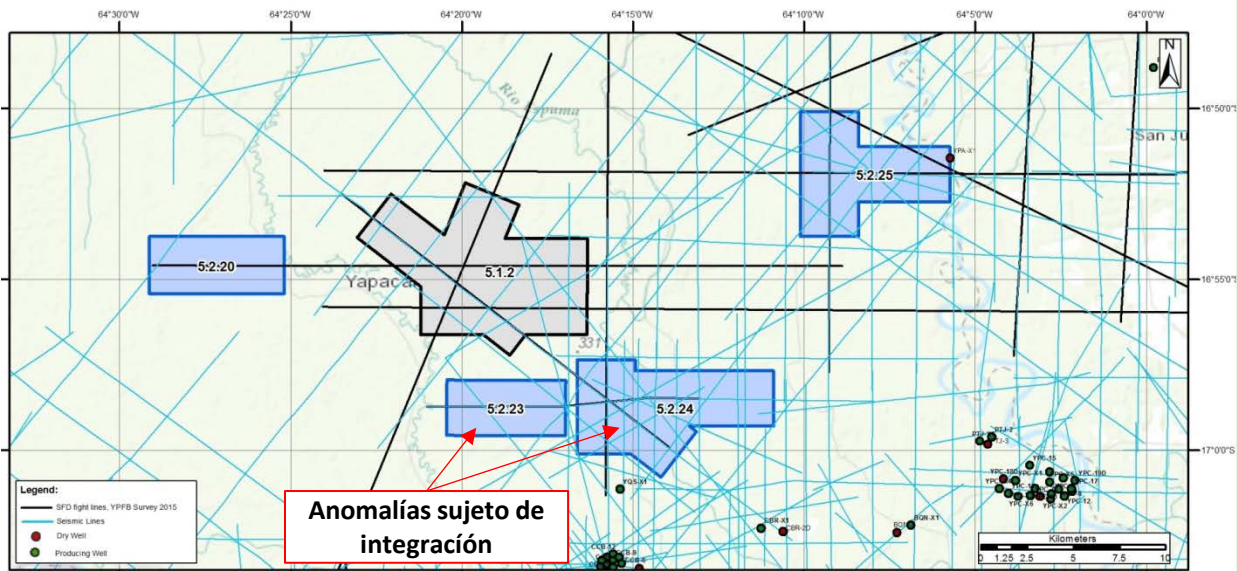
Sesiones de integración multidisciplinaria se llevaron a cabo para comprender y maximizar las indicaciones de los resultados SFD® :

1. Anomalías Individuales de 1er Orden
2. Análisis a detalle de las tendencias de anomalías SFD® de 2do y 3er Orden y combinarlas con el portafolio de prospectos de exploración existentes.

Resultados generales:

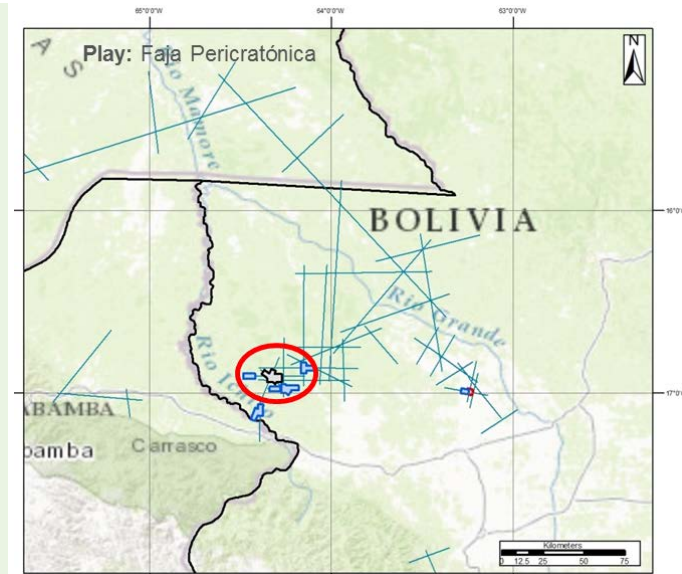
- ✓ Propuesta de nuevos objetivos de Exploración
- ✓ Clasificación de áreas de exploración a partir de los resultados SFD®
- ✓ Proponer interpretación alternativa a prospectos conocidos.
- ✓ Proveer información en nuevas áreas de exploración
- ✓ Enfocar proyectos de adquisición Sísmica nuevos y en marcha.
- ✓ Enfocar interpretación y esfuerzos de reprocesamiento Reprocesamiento de Sísmica 2D y 3D, AVO

Yarará - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos



Anomalías de 1er Orden:

1. Las anomalías de 1er Orden son identificadas en áreas donde la señal SFD® exhibe buenas/excelentes respuestas de trampa y reservorio. No necesariamente diferencia entre el tipo de trampa: estructural, estratigráfica, tampoco diferencia necesariamente el tipo de fluido (gas, petróleo o agua)
2. Las anomalías SFD® de 1er Orden exhiben fuerza y calidad de los atributos de reservorio.
3. Son recomendadas para futuras tareas geológicas y geofísicas para crear prospectos exploratorios..



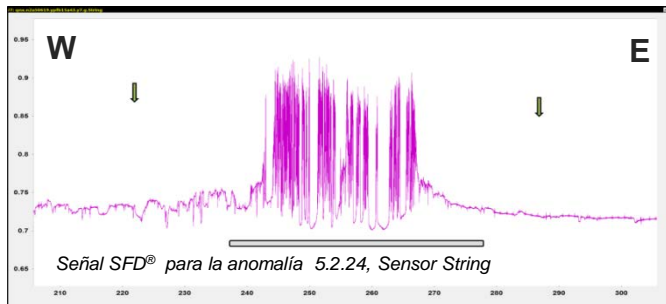
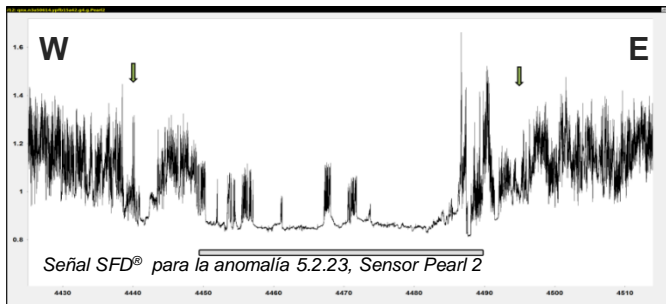
Anomalías de 2do Orden:

1. Necesitan otras fuentes de información Geológica y Geofísica, aparte de SFD®, que soporte un azimuth sub-óptimo a la línea SFD® original, creando la necesidad de líneas SFD® adicionales con la finalidad de confirmar la calidad del reservorio.
2. El factor de confiabilidad de la anomalía es alto; ya que en las anomalías de 2do orden es confirmado por al menos dos diferentes azimuths.

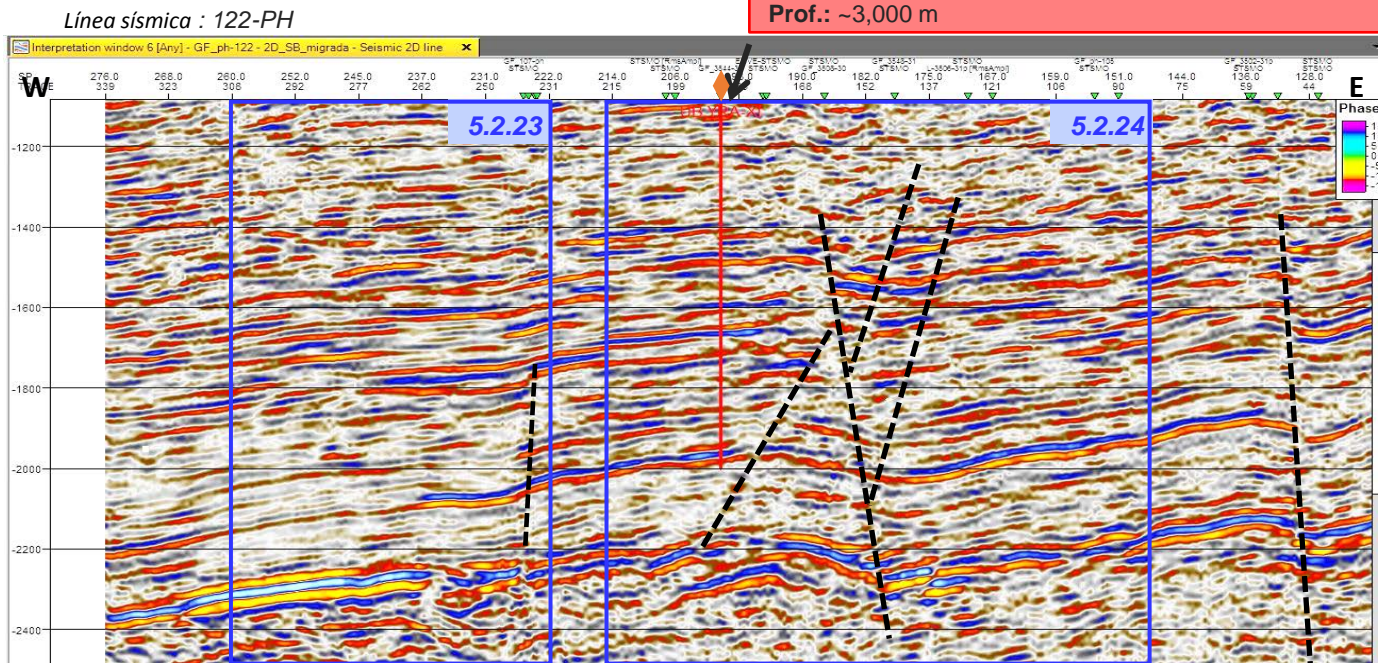
Indicadores de Trampa		Indicadores de Reservorio	
2+	Excelente Potencial de Trampa	A+	Excepcional potencial de Reservorio
2	Muy Buen Potencial de Trampa	A	Excelente potencial de Reservorio
1+	Buen Potencial de Trampa	B+	Muy buen potencial de Reservorio
1	Moderado Potencial de Trampa	B	Buen potencial de Reservorio
		B-	Moderado potencial de Reservorio
		C+	Bajo potencial de Reservorio

YARARA		
Anomalía	Clasif. Combinada	
5.1.2	2B-	1er Orden
5.2.23	1+B-	2do Orden
5.2.24	1+B-	2do Orden

Yarará - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos

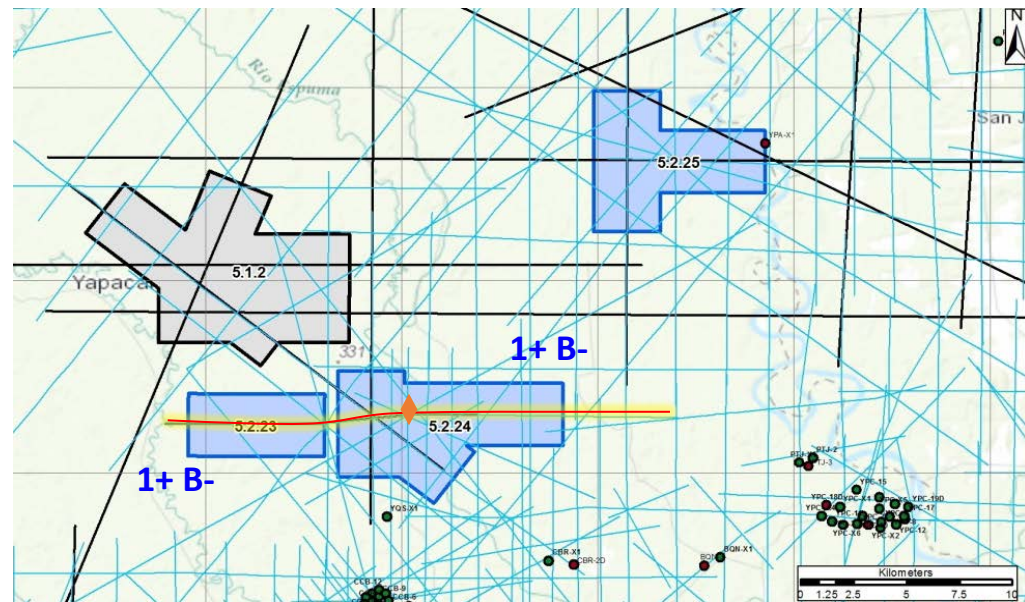


YRA-X1 - Ubicación inicial de Pozo de exploración propuesto
Prof.: ~3,000 m

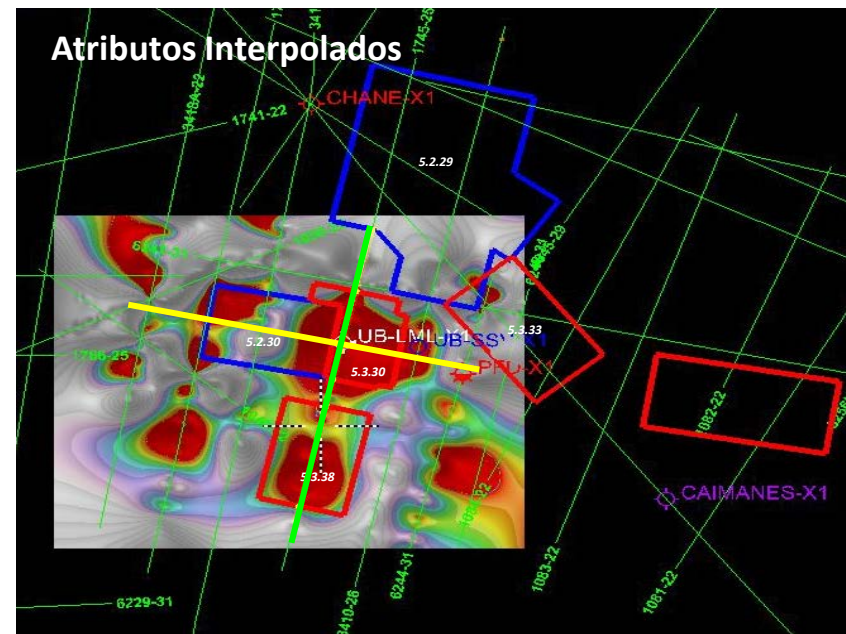
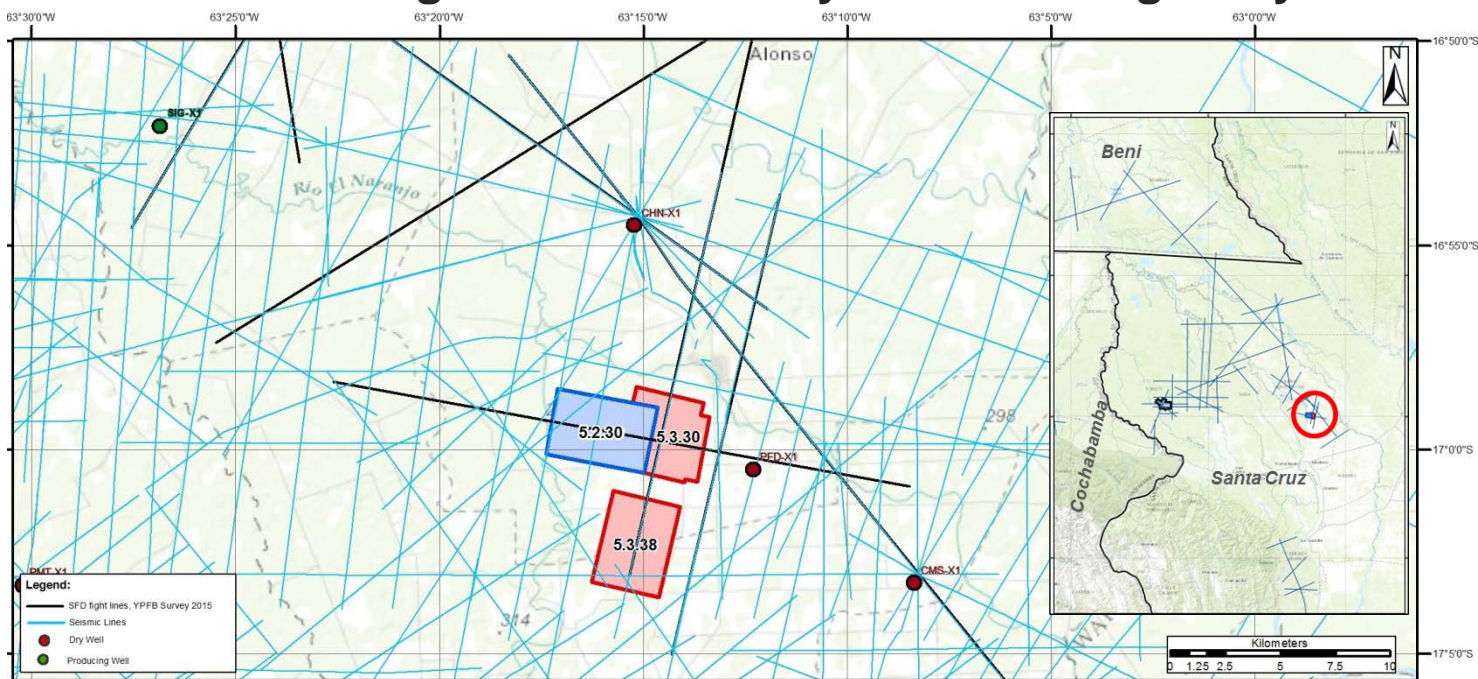


Resultados preliminares mostrando las anomalías (5.2.23) y (5.2.24) interpretadas como de 2do Orden con Buen Potencial de Trampa y Potencial Moderado de Reservorio 1+B-

Se recomienda una mayor integración y enfocada en comparación con la anomalía de 1er orden 5.1.2. (trabajo en progreso)



La Muela - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos



Indicadores de Trampa		Indicadores de Reservorio	
2+	Excelente Potencial de Trampa	A+	Excepcional potencial de Reservorio
2	Muy Buen Potencial de Trampa	A	Excelente potencial de Reservorio
1+	Buen Potencial de Trampa	B+	Muy buen potencial de Reservorio
1	Moderado Potencial de Trampa	B	Buen potencial de Reservorio
		B-	Moderado potencial de Reservorio
		C+	Bajo potencial de Reservorio

La Muela		
Anomalia	Clasi. Combinada	
5.2.30	1+B	2^{do} Orden
5.3.30	1+B	3^{er} Orden
5.3.38	1B-	3^{er} Orden

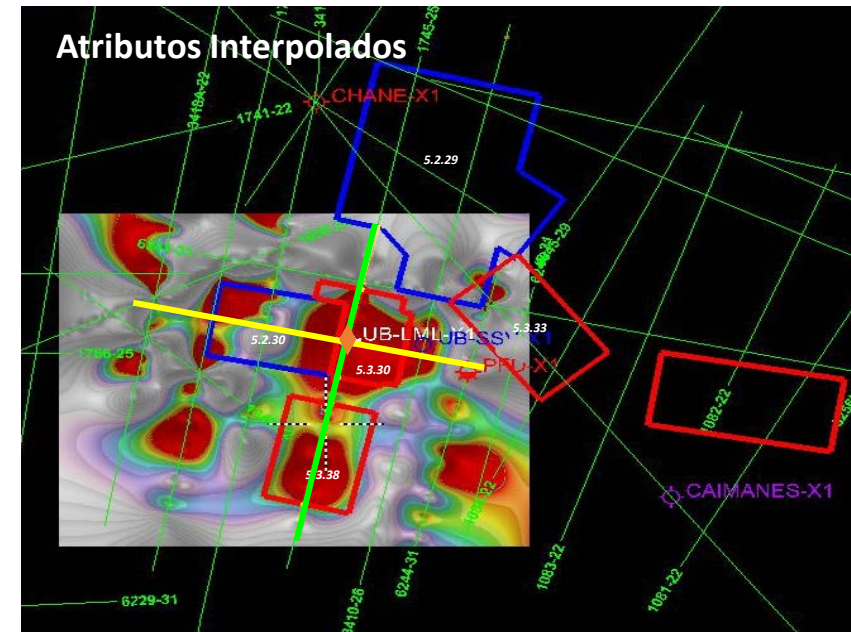
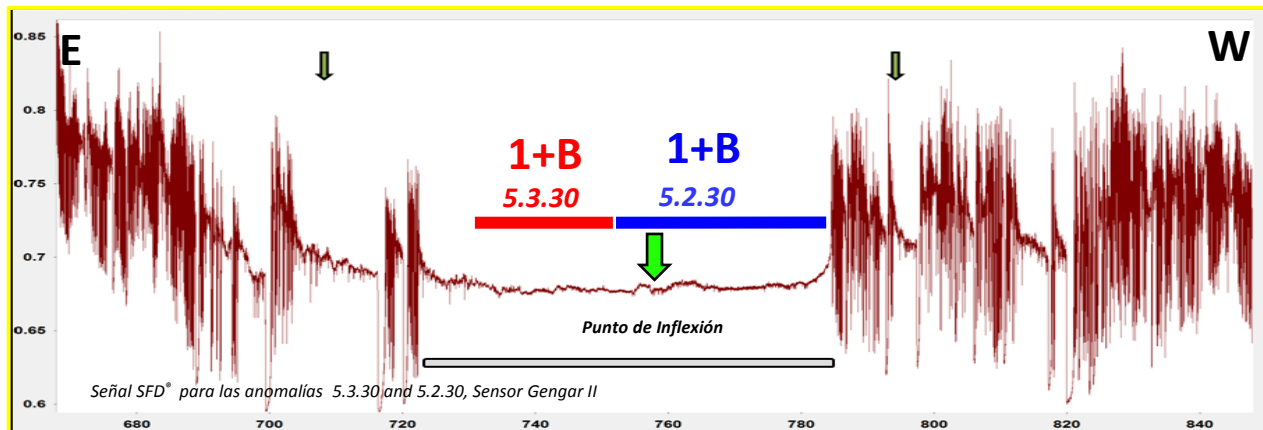
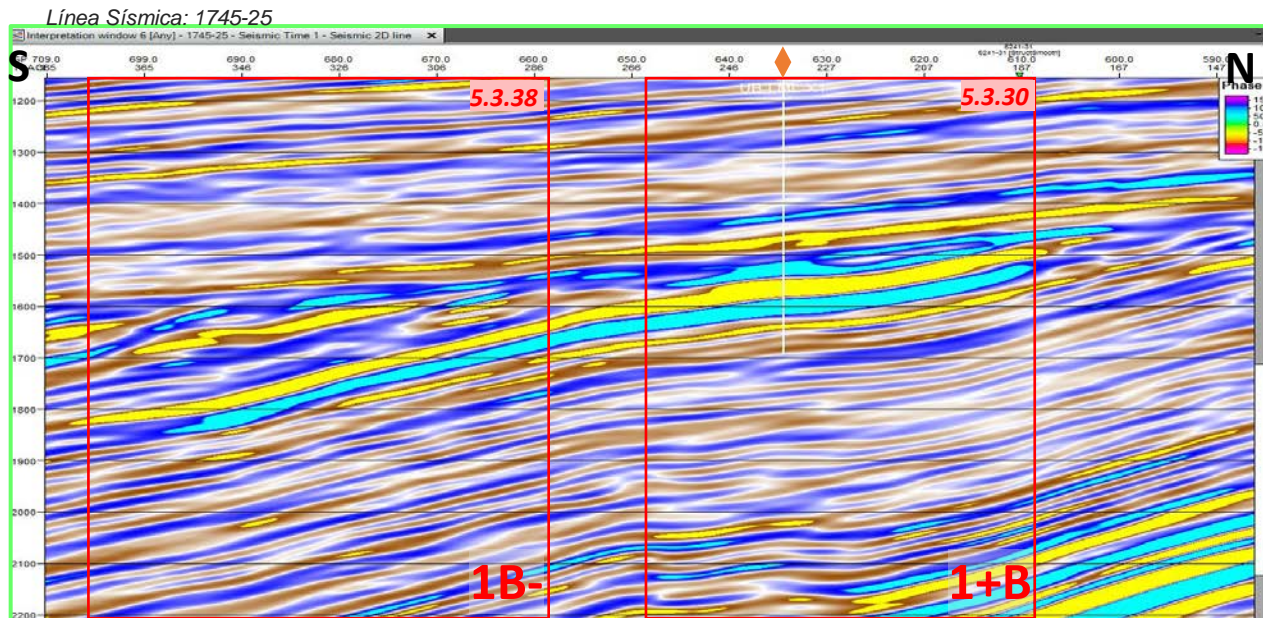
Anomalías de 3^{er} Orden:

Las anomalías de 3^{er} Orden están identificadas donde la señal SFD muestra menores respuestas de Trampa y Reservorio. Esto puede deberse a un número de razones, algunas de las cuales se detallan a continuación:

- La línea SFD® se encuentra al borde de una zona anómala, la mejor parte de la zona en cuestión, esté en las proximidades de la anomalía de tercer orden.
- El azimut de la línea SFD no es el más adecuado para atravesar esa anomalía en particular.
- La anomalía en sí es débil.

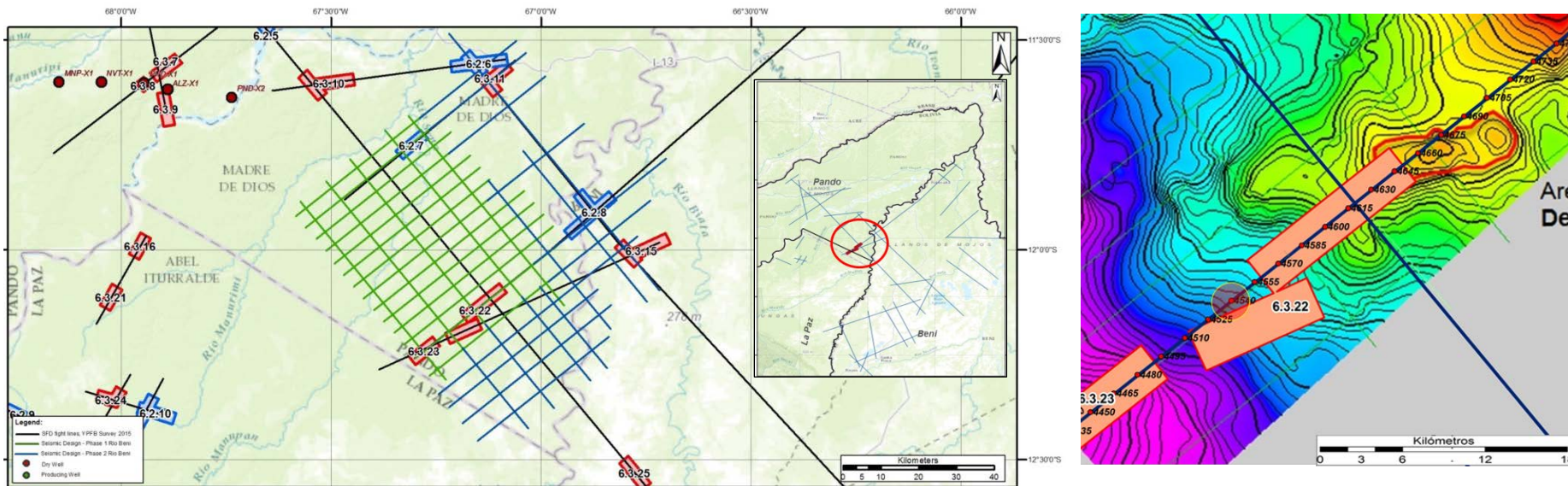
Anomalías de 3^{er} Orden sólo se recomiendan para la investigación si hay alguna otra información disponible para prestar apoyo.

La Muela - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos



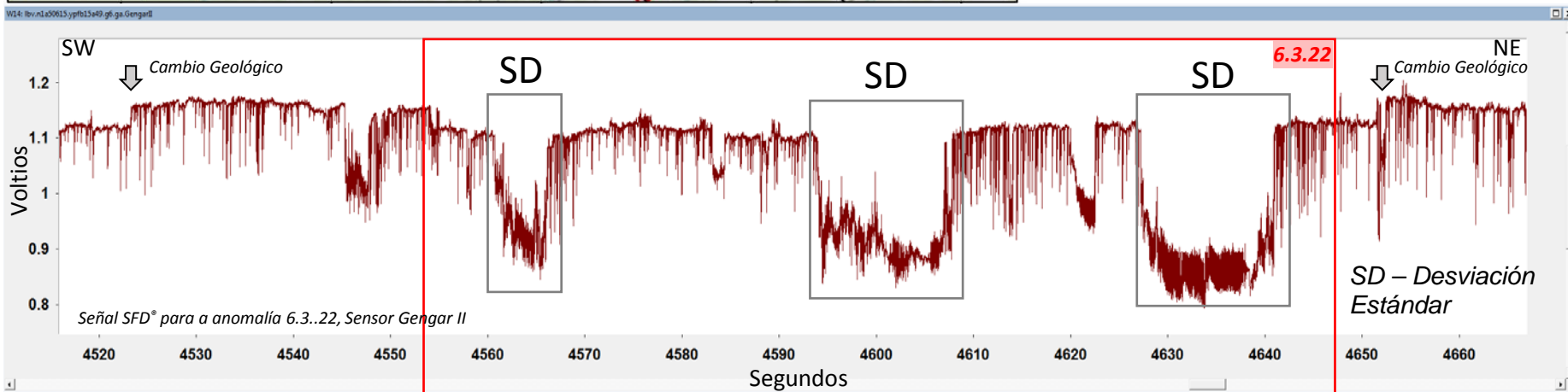
- ✓ La ubicación de exploración fue encontrada dentro a una anomalía de tercer orden (5.3.30) 1+B-
- ✓ Expresión clara de una configuración de acuñamiento subyacente a la discontinuidad de Limoncito como Play principal en el área.
- ✓ Se recomienda investigar más a fondo con productos de sísmica la anomalía de 2^{do} orden (5.2.30) 1+B
- ✓ Discusión sobre los productos AVO sobre los que se recomendó actualizar con datos sísmicos adicionales y actualizados. (*trabajo en progreso*)

Río Beni - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos



Anomalia SFD® de 3er 6.3.22 Sensor Gengar II

Gengar2 muestra la anomalía de la señal en la región 4540 a 4640 segundos. Se observan cambios de frecuencia lo que es indicativo de presencia de fluido atrapado

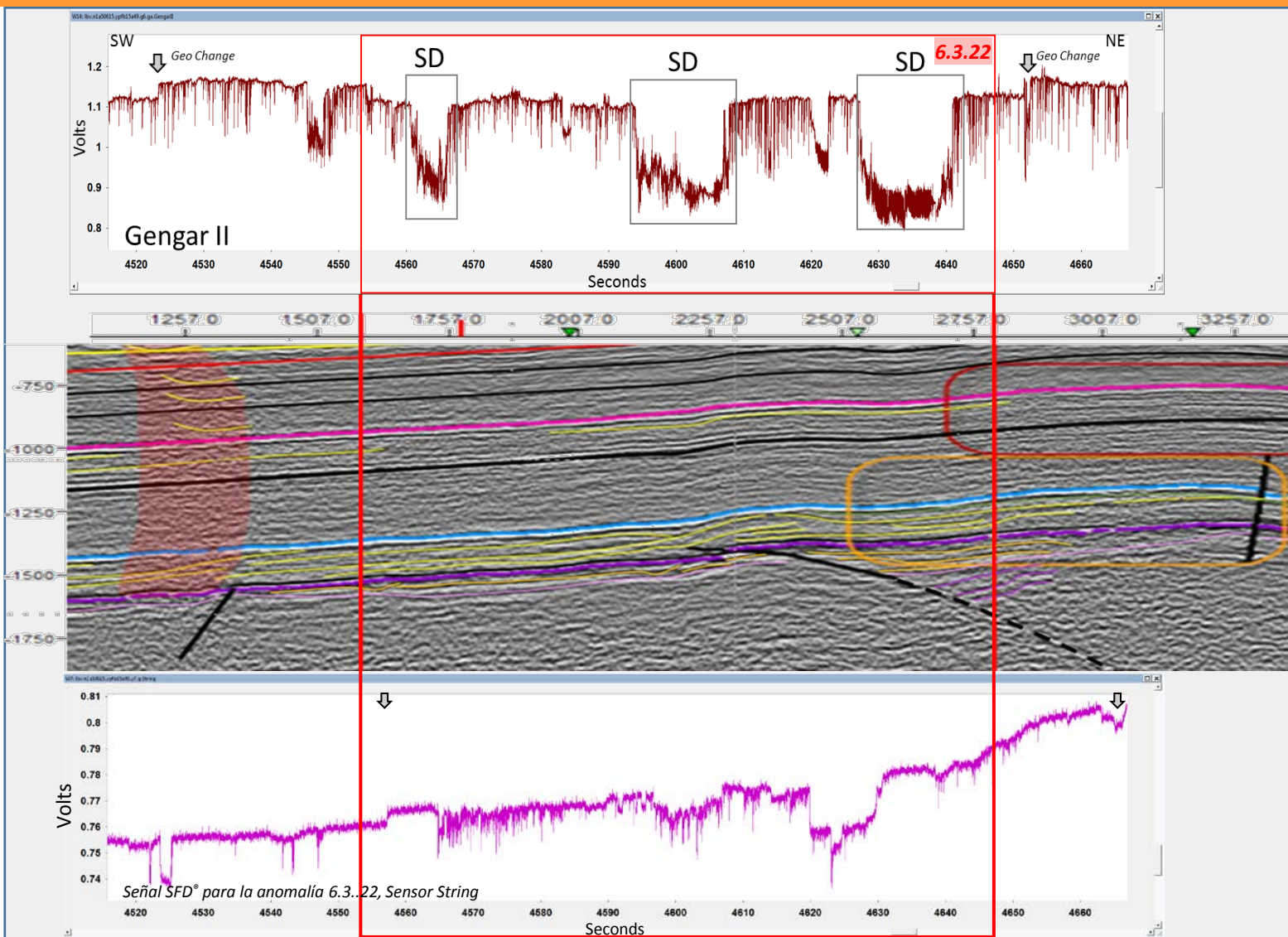


El desarrollo de la señal tiende a elevarse en los niveles de 4630-4635 segundos con altos cambios de desviación estándar combinados con los niveles de amplitud media más bajos.

Río Beni - Integración de SFD® y datos Geológicos y Geofísicos

Correlacionando la anomalía SFD® de 3er Orden con la sísmica, observamos:

1. Ambos sensores son anómalos dentro de CDP 1607 – 2807 Gengar 2 muestra un aumento en frecuencia, con respuesta óptima entre CDP 2307- 2700
2. Cambios similares son observados en el sensor String
3. La interpretación interna del Devónico basal permite describir la geometría interna refiriéndola a una posible estructura que necesita confirmación en la dirección de rumbo.
4. La ubicación de la anomalía resalta la posibilidad de cambios en la sección subyacente al Devónico Basal.
5. Dado el bajo orden de la anomalía. Se recomienda hacer la evaluación de las áreas vecinas en diferentes azimuts para investigar por leads prospectivos en el área de estudio



Conclusiones:

- ❑ Los resultados SFD® integrados con datos de pozo y sísmica ha apoyado los programas de exploración de YPFB en varias maneras:
 - ✓ Proporcionó 14 oportunidades exploratorias jerarquizadas a lo largo de 7 diferentes provincias geológicas de Bolivia.
 - ✓ Confirmación de señal SFD® y análogos provistos por campos de Gas y Petróleo existentes.
 - ✓ SFD® integrado con datos sísmicos y de pozo con las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- ❑ Río Beni:
 - ✓ Las anomalías de Tercer Orden muestran correlaciones prometedoras con la estructura, sugiriendo que el reservorio está dentro la estratigrafía interna en lugar que en el tope de la discordancia del horizonte Devónico. Más SFD en diferente azimut sería requerido para confirmar la mejora o rechazo de este prospecto exploratorio.
 - ✓ La distribución regional de las anomalías SFD® en Río Beni, muestran áreas con mejor desarrollo de anomalías SFD® (2nd orden) identificadas en dirección Norte fuera de la cobertura por datos sísmicos 2D.
 - ✓ Nueva adquisición sísmica ha sido diseñada para continuar esta evaluación.

- ❑ La Muela:
 - ✓ La localización exploratoria se encuentra dentro de una anomalía de tercer orden (5.3.30) 1+ B- mostrando una clara expresión de una cuña sedimentaria subyacente a la discordancia de Limoncito como play principal en la zona.
 - ✓ Aquí la recomendación de gran valor es investigar con más productos sísmicos y evaluar con dichos datos el área vecina en una anomalía de mayor jerarquía 2do orden (5.2.30) 1+B.

Conclusiones:

- ❑ Yarara
 - ✓ Las estructuras y longitud de las anomalías de 2do Orden fueron integradas y revisadas, se observó una alta correlación entre el área prospectiva y las anomalías.
 - ✓ Se evaluaron localizaciones exploratorias con los resultados SFD®. YPFB tiene previsto proponer pozos exploratorios incorporando el análisis de la anomalía SFD® en el proceso de toma de decisión.
 - ✓ Resultados preliminares de áreas con anomalías de 2do orden con buena clasificación SFD® coincidentes con prospectos exploratorios. Los resultados sugieren integración adicional y enfocar en la anomalía de 1er orden que se encuentra próxima.

- ❑ Adquisición e integración de SFD® pueden ser aplicados a través de todas las fases de exploración:
 - ✓ Cuando es implementado tempranamente, permite enfocar el área para futuros trabajos de exploración y delineación.
 - ✓ Cuando se aplica después de que se han identificado los prospectos, indica y clasifica el portafolio de prospectos.
 - ✓ Si se implementa después del descubrimiento, lo confirma y puede proveer potencial de exploración adicional al indicar el contorno del área con fluido atrapado.

- **Pasos a seguir:**
 - ✓ Continuar la evaluación de anomalías SFD® de alta clasificación en áreas a través de la integración con datos geológicos y geofísicos.
 - ✓ Diseñar adquisiciones SFD® adicionales en las áreas de exploración de frontera en Bolivia.
 - ✓ Incorporar SFD® adicional de relleno en las áreas que fueron escasamente cubiertas con la campaña realizada en 2015.