



Reprocesando Sísmica 2D Antigua. Lecciones Aprendidas. Cuenca Ucayali. Perú.

Massimo Di Giulio⁽¹⁾, Johnny Vilca⁽²⁾, Raúl Asto⁽²⁾, Raquel Encinas⁽¹⁾, Salvador Diez de la Cortina⁽¹⁾ y Blas Galiano⁽¹⁾.
CEPSA E&P España⁽¹⁾, CEPSA LATAM Perú⁽²⁾

Copyright 2018, ACGGP.

This paper was selected for presentation by an ACGGP Technical Committee following review of information contained in an abstract submitted by the author(s).

Resumen

En 2017 CEPSA LATAM Perú reprocesó 1.000 km de sísmica 2D en un bloque exploratorio en la Cuenca Ucayali. El 80% de los datos fueron registrados en la década de los 70 y se caracterizan por su baja cobertura. El objetivo del proyecto consistía en mejorar la imagen estructural respecto a versiones anteriores. Se consideró como un aspecto crítico la preparación de los archivos de soporte.

Debido a las características de los datos fue necesario establecer una serie de técnicas para reconstruir la planimetría, altimetría y geometría de adquisición de fuentes y receptores. Para la asignación de elevaciones se emplearon modelos digitales. Además se realizó una revisión de la migración del cauce de los ríos respecto a la intersección con las líneas 2D desde 1970 hasta 2017.

El reprocesado demostró que es necesario aplicar flujos de trabajo específicos para la atenuación de los diferentes tipos de ruido prestando especial atención en preservar las señales con frecuencias bajas. Se requirieron modelos robustos de *Near Surface* para correcciones estáticas y pruebas rigurosas de migración. Los módulos: *Horizon Based Velocity Analysis*, *CDP Trim Statics* y *Residual Velocity Analysis* contribuyeron a mejorar la imagen sísmica. Se demostró que variaciones de velocidad entre 2-3% producen cambios significativos en la imagen migrada. Se realizaron trazados de rayos para modelar los efectos de estáticas y para analizar posibles artefactos.

Las técnicas empleadas durante el reprocesado mejoraron la imagen estructural. Las lecciones aprendidas de este proyecto servirán como referencia para futuros trabajos de procesamiento sísmico en la cuenca Ucayali.

Introducción

Como parte de los trabajos de exploración en un bloque de la Cuenca Ucayali, CEPSA LATAM Perú, planificó el reprocesado de 1.000 km de sísmica 2D. Los datos fueron adquiridos en diferentes programas sísmicos desarrollados desde 1973 hasta 2010. El 80% de las líneas pertenecen a programas sísmicos registrados de 1973 a 1976. Se caracterizan por valores bajos de cobertura nominal (6) y amplios intervalos entre fuentes (≥ 200 m). Se emplearon tendidos de grabación *End-On* con 24 canales posicionados cada 100 m. El *offset* máximo fue superior a 2.300 m. El resto

de las líneas se distribuyen en programas sísmicos adquiridos de 1980 a 2010. Presentan valores de cobertura nominal más altos alcanzando un máximo de 60 en las sísmicas más recientes, intervalos más cortos entre fuentes y receptoras, mayor número de canales y *offsets* máximos superiores a los 3.500 m.

Para cada una de las líneas 2D se disponía de los registros de campo en formato SEG Y, reporte del observador, informe de adquisición de los diferentes programas, reportes de topografía, versiones de procesados anteriores e imágenes en formato TIFF. Se contaba con un registro muy detallado elaborado por PERUPETRO (2017) con la información disponible de cada línea.

Se consideró como incompleta la información relacionada con planimetría y altimetría ya que se disponía únicamente de datos de coordenadas y elevaciones cada 10 estaciones en más del 80% de las líneas. Asimismo, la ausencia de archivos SPS generaba un problema para la asignación de la geometría de adquisición en los *headers* de las trazas asociadas a los diferentes programas. Por tal motivo, se consideró como un aspecto crítico la preparación de los archivos SPS antes de iniciar los trabajos de reprocesamiento sísmico.

El análisis de los registros de campo y de las versiones procesadas anteriormente permitió establecer los siguientes objetivos para mejorar la imagen sísmica de las estructuras de interés:

- Atenuación de ruido.
- Preservar y mejorar el contenido de frecuencia.
- Generación de modelos de *Near Surface* robustos para el cálculo de correcciones estáticas.
- Análisis de velocidad detallados y conformes con las estructuras geológicas.
- Pruebas de parámetros de migración en el dominio del tiempo.

Descripción del Área de Estudio

Los programas sísmicos fueron adquiridos en la parte noroeste de la cuenca Ucayali.

El área de estudio se encuentra ubicada en zona de selva baja (elevaciones < 500 m s. n. m.). El extremo occidental se encuentra limitado por los altos de Rashaya y en el extremo oriental se encuentran extensas llanuras de inundación que se encuentran influenciadas por el río Ucayali y sus afluentes (Figura 1). Las zonas bajas son susceptibles a inundaciones.

Las elevaciones registradas presentan un valor máximo de 350 m s. n. m. y un valor mínimo de 180 m s. n. m.

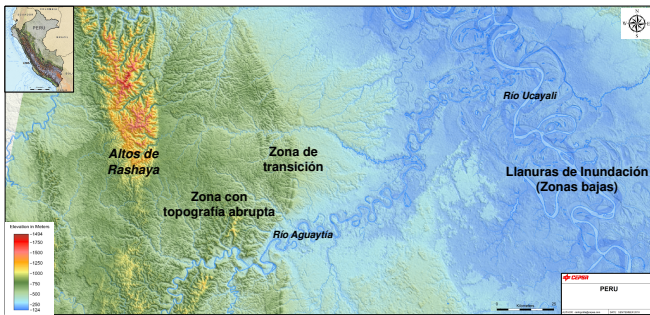


Figura 1. Descripción del área de estudio. Modelo digital de elevaciones DEM.

Geología del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la parte noroeste de la cuenca Ucayali, en el centro-este del Perú. En término de tectónica de placas se encuentra en el *backarc* de las montañas andinas. La región experimentó una evolución estructural compleja como resultado de múltiples eventos tectónicos compresionales y extensionales que comenzaron en el Paleozoico temprano y están activos en la actualidad.

El área se caracteriza por una estructura invertida de *thinned* con mucho menos relieve estructural y menos deformación que el dominio occidental caracterizado por un dominio altamente deformado y elevado (Figura 2).

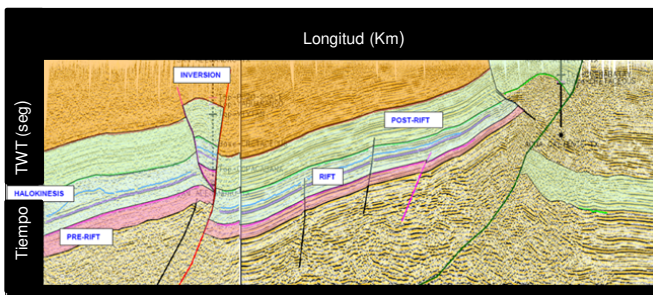


Figura 2. Unidades tectonoestratigráficas principales.

La estratigrafía en la parte norte de Ucayali se extiende desde el Precámbrico hasta la actualidad. El Cretáceo es el intervalo con la datación más precisa, pero las unidades jurásicas a triásicas carecen de control bioestratigráfico.

El área ha sufrido múltiples eventos tectónicos que controlan la distribución y preservación de sedimentos, particularmente durante las unidades de tiempo del Paleozoico Tardío y Mesozoico Temprano.

Hay cinco unidades tectonoestratigráficas principales:

- a) Sedimentos pre-rift (Paleozoico).
- b) Sedimentos relacionados con la fisura Permo-Triásica.
- c) *Halokinetic features* (Jurásico)
- d) Sedimentos cretácicos posteriores al *rift*.
- e) Sedimentos relacionados con la inversión Cenozoica.

Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de reprocesamiento se estableció una primera fase de trabajo caracterizada por la compilación, organización y revisión de toda la información disponible de cada uno de los programas sísmicos. Adicional a esto, se generaron una serie de mapas con todas las características culturales y fisiográficas del área de estudio.

Se establecieron tres grupos de trabajo. Dos grupos encargados de reconstruir la planimetría y altimetría de cada una de las líneas y el QC de posicionamiento en función de la información disponible. El otro grupo se encargó de construir los archivos SPS, revisar la distribución de los atributos geométricos (cobertura y *offset*) y revisión de los registros de campo en formato SEG-Y. Además, fueron generados archivos con el resumen de cada uno de los programas y otros con la descripción de cada uno de las líneas 2D. En la figura 3 se muestra el flujo de trabajo empleado para la preparación de los archivos de soporte.

Se realizó la asignación de la geometría en los *headers* de las trazas mediante flujos de trabajo en un *software* de procesamiento sísmico con el fin de evaluar los archivos de soporte. También se generaron apilados básicos para confirmar mediante técnicas de procesamiento sísmico la validez de los archivos SPS generados y los registros de campo disponibles. En esta fase, fue de mucha utilidad disponer de las versiones en formato SEG-Y o TIFF de los procesamientos realizados anteriormente.

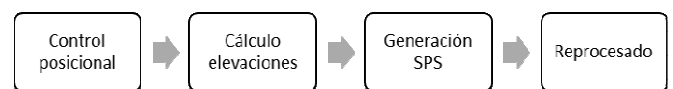


Figura 3. Flujo de trabajo para la preparación de los archivos de soporte.

Una vez finalizados estos trabajos todos los archivos de soporte fueron enviados a la compañía de procesamiento sísmico. Esta primera fase garantizó la entrega de datos confiables, contribuyendo a reducir tanto los tiempos como los costos asociados al servicio.

Durante la fase de procesamiento, se seleccionaron un grupo líneas de prueba relacionadas con los distintos programas sísmicos, con el objetivo de definir la secuencia de procesamiento más idónea a emplear para todas las líneas 2D.

Para algunos programas fue necesario incluir módulos adicionales debido a las características de los datos. Para el QC interno se consultó el artículo de Yilmaz (2007) acerca de los aspectos relacionados con las correcciones estáticas. En la fase de producción se estableció la interacción entre el centro de procesamiento y CEPESA LATAM Perú para la revisión de las diferentes versiones reprocesadas. En diversos casos fueron solicitadas algunas pruebas para confirmar la imagen sísmica de las estructuras geológicas de interés.

Control Posicional

Integrar información procedente de varias campañas sísmicas, adquiridas por diversas compañías, en diferentes décadas, implicó realizar un control de calidad posicional que permitiese asegurar la coherencia de los archivos de soporte desde un punto de vista geodésico.

Los programas sísmicos objeto del presente estudio fueron adquiridos entre los años 1973 y 2010. En dicho intervalo de tiempo, se han desarrollado avances técnicos tanto en los instrumentos topográficos, como en los sistemas geodésicos de referencia relacionados con las coordenadas de fuentes y receptoras.

Cabe destacar la importancia de conocer, previamente al reprocesado, la localización planimétrica y altimétrica de dichos puntos sobre el terreno, para obtener imágenes sísmicas confiables.

Las coordenadas de los archivos de soporte originales, se encontraban documentadas como referidas a PSAD56/Perú Central, PSAD56/UTM 18S y WGS84/UTM 18S.

Parte de las coordenadas de los archivos de soporte fueron consideradas incompletas por las siguientes razones:

- No existía documentación original del levantamiento topográfico, que confirmara la información recibida.
- Los datos incluían coordenadas cada 10 estaciones, llegando a existir 1 km entre puntos conocidos.
- Parte de las estaciones carecían de coordenada altimétrica.

El primer paso consistió en realizar las transformaciones necesarias para tener todas las coordenadas referidas a un único sistema de referencia, en este caso a WGS84/UTM 18S.

Dado que existen varias fórmulas para realizar dicha transformación, se seleccionó la transformación de PSAD56 a WGS84 más adecuada para el área de estudio.

Con todas las coordenadas en el mismo sistema de referencia, se examinaron los resultados identificando un punto cuyas coordenadas fueron medidas en tres campañas sísmicas diferentes, observándose una discrepancia planimétrica de 440

metros en una de ellas.

Se trataba de una señal materializada en terreno que representaba la intersección de dos líneas sísmicas.

La estrategia seguida para solventar esta circunstancia fue tomar como referencia las coordenadas del punto localizado y medido por CEPESA LATAM Perú durante la campaña de 2010, y hacer que las otras campañas sísmicas a reprocesar fuesen consistentes con dichas coordenadas.

Una vez corregidas las posiciones planimétricas, de acuerdo a los reportes del observador, fue necesario recrear la geometría de aquellas líneas que estaban incompletas en cuanto al intervalo entre receptores, realizando las interpolaciones y extrapolaciones necesarias para completar las coordenadas de las estaciones entre puntos conocidos. En la figura 4 se muestra se flujo de trabajo empleado en la fase de control posicional.

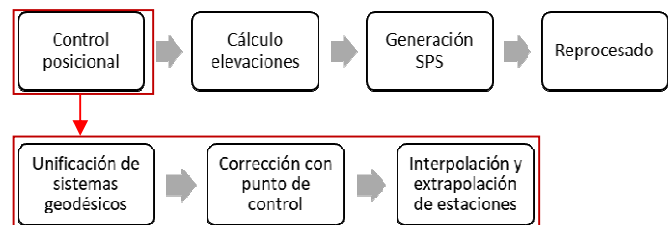


Figura 4. Flujo de trabajo para el control posicional.

Cálculo de Elevaciones

Debido a la ausencia de información altimétrica en algunas fuentes y receptoras, fue necesario recurrir a modelos digitales, para asignar las elevaciones de cada una de las líneas 2D. Los modelos fueron generados a partir de imágenes tipo radar.

Los modelos digitales de elevación representan valores de altura, por lo cual, son importantes en los estudios geomorfológicos ya que modelan el relieve de una superficie. Por esta razón, múltiples estudios están enfocados al uso de estos modelos, pero ninguno de ellos es específico para un determinado lugar. La metodología para el cálculo de elevaciones, que a continuación mostramos, se basa sobre el conocimiento empírico de la zona, la experiencia y las observaciones relacionadas con las variaciones de altura del relieve topográfico de un modelo digital.

La Metodología de trabajo aplicada se resume a continuación:

- Se adquirieron *sets* de pares de imágenes estéreo radar *ScanSAR* del satélite *TerraSAR-X*, que cubren la totalidad del área de estudio, luego se generó un modelo digital de elevaciones con 15 m de resolución espacial.

- b) Para mejorar la calidad del proceso de extracción de elevaciones, el modelo digital fue calibrado con una serie de puntos de control medidos en el campo. Se complementó con la información topográfica de campañas sísmicas recientes cercanas al área de estudio (Figura 5).
- c) Las imágenes *ScanSAR* presentaron un error medio cuadrático (*RMSE*) de 10 m para suelos sin mayor rugosidad y de 20 m para relieves montañosos. Manteniendo este concepto, se crearon diferentes filtros de sombreado que fueron aplicados al modelo digital de elevación con la finalidad de identificar zonas con mayores y menores valores de relieve topográfico en la zona.

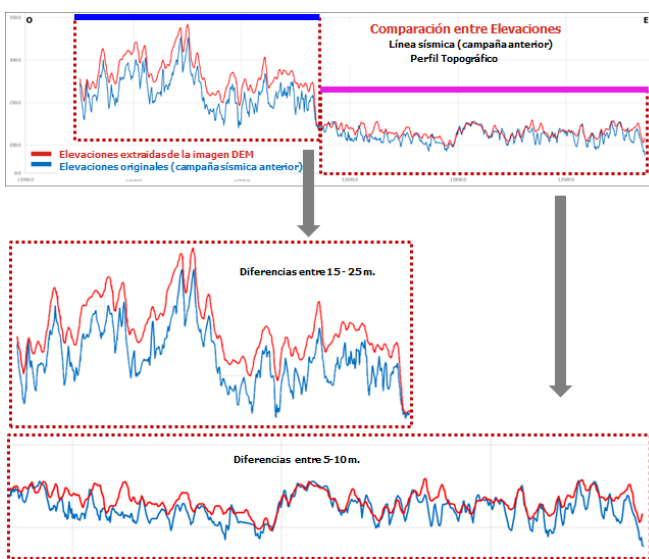


Figura 5. Calibración de las elevaciones con líneas sísmicas adquiridas en campañas recientes. Nótese a la izquierda la zona con topografía abrupta y a la derecha zonas bajas.

- d) Del modelo digital resultante, se extrajeron los valores de altura para cada posición de fuentes y receptoras de las líneas sísmicas y se comparó con los valores de elevación de los perfiles topográficos adquiridos en campo, obteniendo las siguientes diferencias en los valores de elevación (Figura 6):

- Entre 15 a 30 m en relieves topográficos con cobertura arbórea sin intervención humana.
- Entre 10 a 15 m en relieves topográficos con cobertura arbórea cercanos a actividades agrícolas.
- Entre 0 a 10 m para las zonas anegables o llanuras de inundación con poca vegetación.

- Sin mayor discrepancia en los valores de elevación para zonas sin vegetación o cubiertas con agua (ríos y lagunas)

- e) Finalmente se generó un modelo digital a partir de filtros de tonalidad de colores asociados con los cambios de relieve. Esto permitió diferenciar zonas con alta actividad agrícola de zonas boscosas sin mayor influencia antrópica. Además, el modelo mostraba los valores estimados para las correcciones de elevaciones.

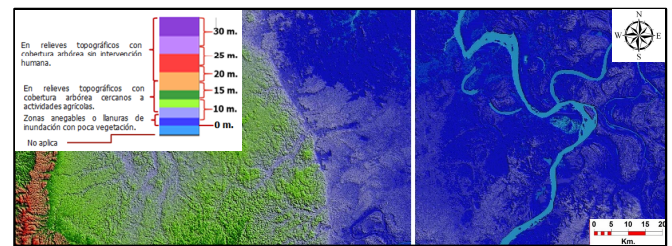


Figura 6. Diferencias de elevaciones entre el modelo digital generado y los perfiles topográficos de las líneas sísmicas.

Archivos de Soporte

Una vez reconstruida la planimetría y altimetría de cada una de las líneas 2D, se procedió a la generación de los archivos de soporte SPS (*Shell Processing Support*). Los archivos SPS relacionan los registros de campo con el reporte del observador y los datos de topografía.

Los registros de campo fueron reformateados y entregados en formato SEG Y. Los SEG Y contienen los FFID (*File Field Identifier*). En dichos archivos se encuentran las trazas sísmicas asociadas con las fuentes y receptoras, empleadas durante la grabación de los datos sísmicos.

Mediante *script* elaborados por el grupo de QC CEP SA se extrajeron parte de las cabeceras de las trazas y se generaron las estadísticas de cada archivo FFID. Se comprobó que no existieran FFID duplicados, en cuyo caso, fueron renombrados o eliminados. Se descartaron los FFID asociados con las pruebas instrumentales, *test* de ruido, errores de grabación y registros de mala calidad. En esta fase se trabajó con la información de los reportes del observador.

Los reportes del observador disponibles eran archivos escaneados del original y que contenían toda la información relacionada con la geometría de adquisición empleada en cada FFID. Mediante hojas Excel se realizó la reconstrucción y QC de la geometría que aparecía en los reportes del observador. Además, se incluyeron los datos relacionados con la profundidad de carga y tiempos de “*up-hole*”. Estos datos se cotejaron con las cabeceras de los FFID del paso anterior. Finalmente se vinculó con la información de topografía y se generaron los archivos SPS. Los archivos SPS eran elaborados

mediante una aplicación generada por el equipo de QC de CEPESA denominada SPS Generator V0.1 que se adaptaba en función de las diferentes geometrías de adquisición de cada uno de los programas sísmicos (Figura 7).

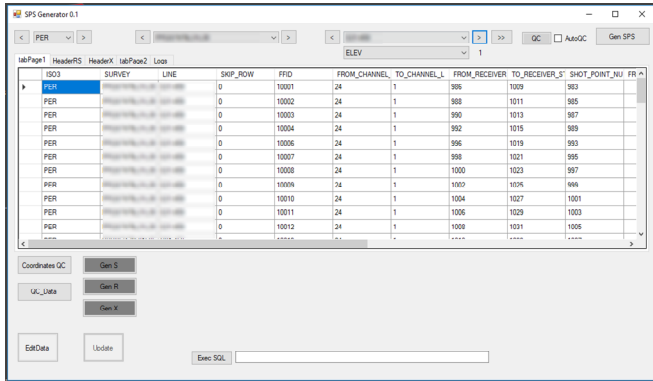


Figura 7. Aplicación SPS Generator V0.1.

Datos de Campo

Se realizó la revisión de la *raw data* de cada uno de los programas. En una base de datos fue recopilada toda la información correspondiente a la calidad de los registros de cada línea. Se generaron estadísticas acerca de la cantidad de registros a procesar, perdidos, mala calidad, pruebas, *VOID* y *SKIP*.

Los registros de los diferentes programas presentan diversas características que están asociados a las áreas donde fueron adquiridos. En las zonas de transición y llanuras de inundación se tienen registros de buena calidad, excepto en las zonas cercanas a los ríos y en los meandros. Zonas con topografía variable presentan una calidad entre buena a pobre. Especial atención los datos adquiridos en zonas con afloramientos cretácicos, debido a los problemas de perforación, fueron empleadas fuentes a poca profundidad que generaron datos de baja calidad.

En los datos se identifican el ruido asociado con las ondas superficiales y actividades humanas. Muchos se caracterizan por la presencia de ruido instrumental y estáticas ambientales. Además se tienen algunos incompletos producto de errores de grabación, trazas ruidosas tipo *spikes*, trazas sin información, y *crossfeed*. En Figura 8 se muestra un ejemplo de los registros sísmicos adquiridos de 1974-1976.

Reprocesamiento Sísmico. Lecciones Aprendidas

La compañía ABSOLUTE IMAGING se encargó del reprocesamiento de los datos sísmicos relacionados con los diferentes programas 2D. Se seleccionaron un grupo de líneas para establecer la secuencia de procesado base y se incorporaron otros módulos dependiendo de las características de los datos.

CEPSA LATAM Perú entregó a ABSOLUTE IMAGING todos los archivos de soporte necesarios para la asignación de la geometría en los *headers* de las trazas. Esto permitió optimizar el proceso y reducir los tiempos de trabajo para el QC de geometría. De esta forma la compañía de procesamiento

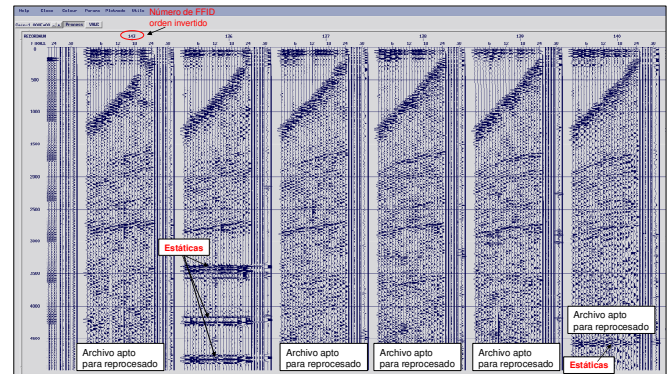


Figura 8. Ejemplo de registros sísmicos adquiridos en la campaña 1974-1976.

dedicó más tiempo al desarrollo de las pruebas para la selección de los parámetros más idóneos a emplear en los diferentes módulos de la secuencia de procesamiento.

Durante el proceso de QC geometría y selección de primeros quiebres se generaron gráficos para revisar si la posición de los puntos fuentes y estaciones receptoras es la correcta. En el cuadro B de la figura 10 los colores rojo y verde muestran las posiciones correctas mientras que los colores azul y morado indican un intervalo donde debe ser revisada la posición de los elementos del tendido sísmico 2D (Figura 9).

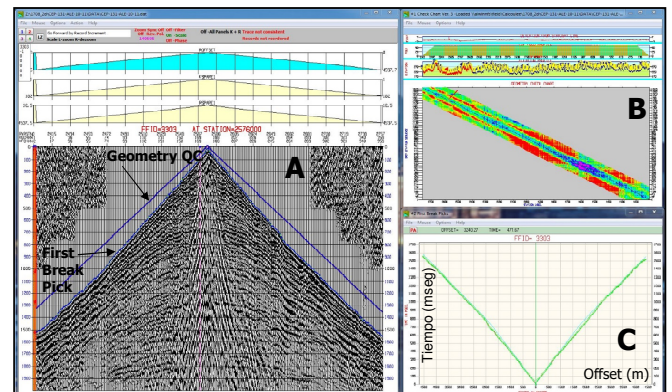


Figura 9. Ejemplo de QC geometría.

Para la atenuación de ruido fue necesario aplicar secuencias de flujo específicas para cada tipo de ruido y trabajar en distintos dominios como el de *shot gather*, *CDP gather* y *Post-Stack*. Se aplicaron módulos de atenuación de ruido generado por ondas superficiales y ruido aleatorio. Para la eliminación de los ruidos asociados con *spikes*, estáticas y ruido instrumental se realizaron diferentes pruebas hasta limpiar de forma eficiente los registros ABSOLUTE IMAGING (2018).

En cada etapa se preservó el contenido de frecuencia de los datos el cual se caracteriza por estar dominado por las bajas frecuencias. Nótese en la figura 10 los resultados de una de las fases de atenuación de ruido mediante el *FX Median Filter*. A nivel de apilado se trabajó mucho para atenuar el ruido en la parte somera de las secciones 2D mediante el módulo de *Surface Wave Noise Attenuation (SWNA)*.

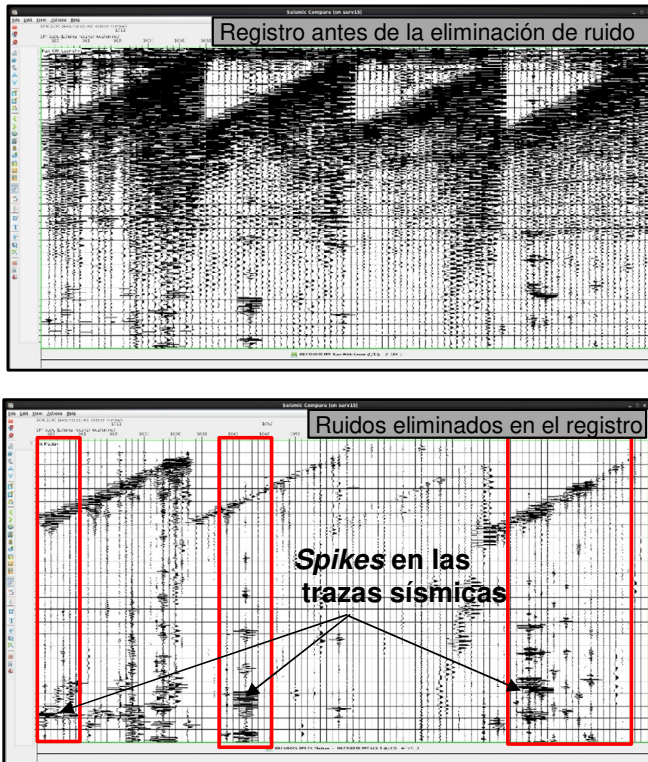


Figura 10. Ejemplo de eliminación de *spikes* en los registros sísmicos.

Las correcciones estáticas fueron calculadas a partir de modelos robustos de *Near Surface* generados a partir de los datos provenientes de los primeros quiebres. No se disponía de datos adicionales como de refracción o *up-holes* para calibrar los resultados. Se realizaron pruebas con tres metodologías: Elevación, *Generalized Linear Inversion (GLI)* y Tomografía. Para mantener la consistencia del proceso se decidió aplicar la misma metodología para todos los programas sísmicos 2D.

El GLI generó los mejores resultados en los apilados en especial en la parte somera y en las estructuras de interés. La Tomografía no generó resultados idóneos en las líneas sísmicas adquiridas en los años 70 y 80. Se empleó únicamente Tomografía en 4 líneas asociadas con topografía abrupta donde el GLI no generó buenos resultados. En resumen en el 96% de las líneas fue aplicada la metodología de GLI.

El modelo de *Near Surface* empleado para el cálculo de correcciones estáticas estaba constituido por tres capas con

variación lateral de velocidades y de espesor. Debido a las características de la metodología GLI, la primera capa tenía velocidad constante. Se observaron velocidades altas de *Near Surface* de hasta 2.800 m/seg en la zona con topografía variable y velocidades de 1.800-2.000 m/seg en la llanuras inundables. Tanto el GLI como la Tomografía permitieron identificar en un número considerable de líneas una capa con una velocidad estable de 2.400 m/seg. (Figura 11).

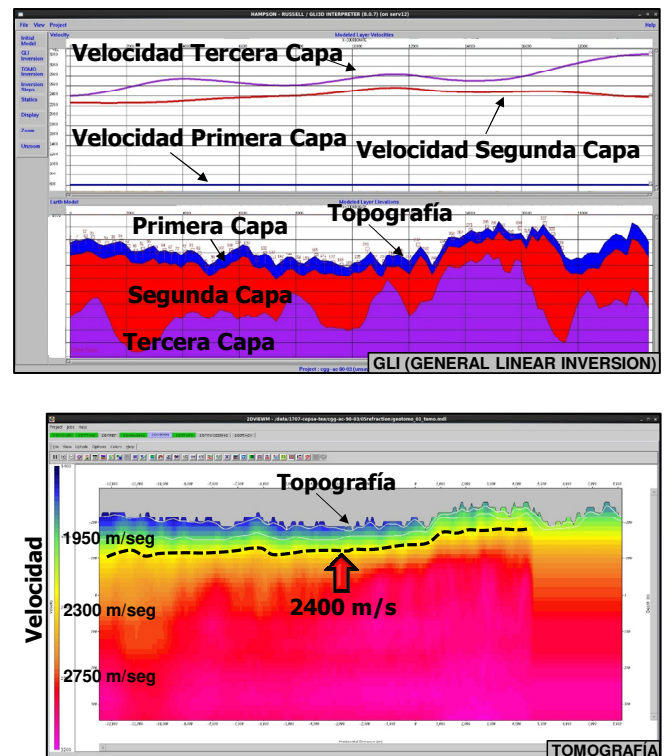


Figura 11. Ejemplo de los modelos de *Near Surface* generados mediante GLI y Tomografía para dos líneas sísmicas.

La deconvolución consistente con superficie tipo *spiking* fue seleccionada luego de diversas pruebas con diferentes longitudes de operador. Se aplicó en los dominios del *shot gather*, receptores y *CDP gather*. Fue necesario emplear el módulo de spectral whitening para estabilizar el espectro de frecuencias. Luego de estos procesos, fue necesario aplicar nuevamente otra fase de atenuación de ruido y se incluyó además, la ecualización de la traza para preparar los datos para los análisis de velocidad.

Para los análisis de velocidad se emplearon dos metodologías para definir mejor los aspectos estructurales de las líneas sísmicas. El *semblance analysis* con *common offset display* y *constant velocity stack* con puntos de control cada 1.000 y 500 metros ABSOLUTE IMAGING (2018).

Para refinar aún más la imagen sísmica se aplicó el *Horizon Based Final Velocity Analysis* con puntos de control cada 500

metros. Para el proceso de PSTM se emplearon *Residual Velocity Analysis*. Además, se aplicaron dos pasos de estáticas residuales con resultados estables. Las estáticas residuales aportaron mejoras importantes en la definición de los aspectos estructurales.

La figura 12 muestra un ejemplo de *Semblance Analysis* y un campo de velocidades RMS para una línea 2D. Se generaron campos de velocidades RMS detallados y conforme con las estructuras en los niveles de interés exploratorio. Dichos campos fueron trabajados con mucho detalle para favorecer el proceso de migración de los datos sísmicos.

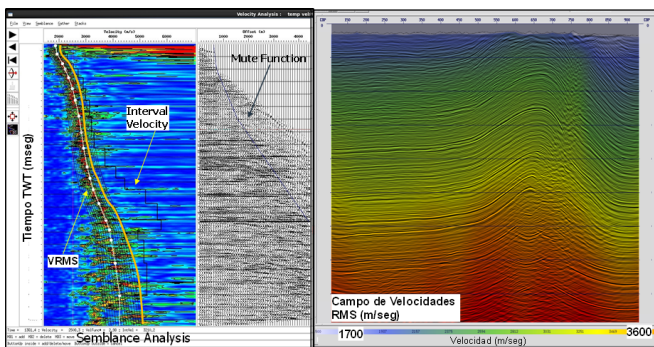


Figura 12. *Semblance Analysis* y Campo de velocidades RMS.

Durante el proceso de migración se realizaron diferentes pruebas para la selección de los parámetros y la revisión de la imagen obtenida, para descartar posibles artefactos. Se generaron dos versiones, una con migración después del apilado y otra pre-apilado (PSTM). Es importante destacar que para las campañas de los 70 y 80 no se identificaron mejoras en la imagen con las versiones PSTM. Para las campañas de 1990 a 2010 se observaron mejoras en la imagen generadas con el PSTM.

Para la migración se emplearon los campos de velocidades RMS suavizados. Se seleccionó el algoritmo de 2D *Kirchhoff Summation* Isotrópico tanto para después de apilado y pre-apilado (PSTM). No fue aplicada la misma apertura de migración y el *dip angle* en todas campañas. Dependiendo de las características de la geometría y de la complejidad estructural se variaron dichos parámetros. Los valores se variaron de 3.500-4.000 metros y entre 60°-80°.

Los resultados se consideraron óptimos y de buena calidad ya que permitieron incrementar la resolución especial, colapsaron con mucha eficiencia las hipérbolas de difracción y se definieron características importantes en las estructuras complejas. En la figura 13 se muestra un ejemplo de la calidad del proceso para colapsar las hipérbolas de difracción y la migración de las estructuras.

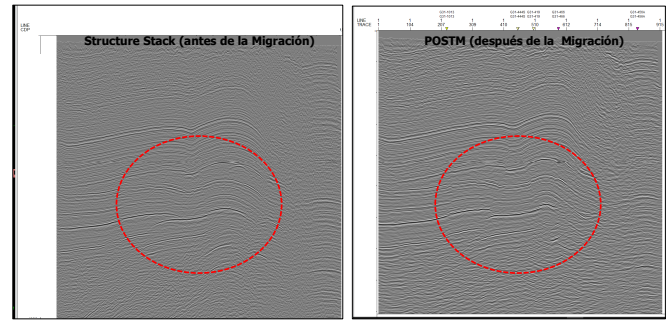


Figura 13. Migración Post-Apilado. A la izquierda la sección sísmica sin migrar y a la derecha después de la migración. Nótese como se colapsan las hipérbolas de difracción y como mejora la definición de los aspectos estructurales.

Los análisis demostraron que en los datos de algunos programas sísmicos variaciones de velocidad entre 2-3 % producen cambios significativos en la imagen migrada. Se realizaron pruebas seleccionando desde el 88% hasta 112 % de las velocidades para migración. Para mantener la consistencia de las versiones migradas fue empleado el 100% de las velocidades en todas las líneas.

Cabe destacar que es muy importante tener en cuenta los factores que afectan la migración durante este tipo de reprocesados. Se debe prestar atención en procesos que atenúen con efectividad el ruido, eliminen las anomalías de amplitud (*spikes*, *burst* y trazas truncadas), se preserve la distribución de *offset*, aperturas de migración eficientes y especial cuidado con datos afectados por el efecto de *aliasing* espacial, especialmente cuando se emplean geometrías de adquisición, con amplios intervalos de fuentes y de estaciones receptoras.

Los módulos adicionales empleados durante el reprocesamiento y que aportaron mejoras en la calidad de la imagen sísmica fueron los siguientes:

- CDP TRIM STATICS:** para mejorar la calidad en el proceso de *flattening* de los CDP gathers. Aportó muy buenos resultados especialmente para los datos de los programas de 1990 a 2010.
- RESIDUAL VELOCITY ANALYSIS:** fue aplicado en el flujo de los PSTM. Se observaron mejoras en las líneas sísmicas de los programas de 1990 a 2010.
- PHASE STATIC AND GRID BALANCING:** proceso para establecer el *tie* entre las líneas 2D. Los resultados se consideraron de buena calidad. En algunos casos se presentaron deficiencias debido a la calidad de la imagen o a la complejidad estructural ABSOLUTE IMAGING (2018).

En la figuras 14a, 14b y 14c se presenta una secuencia de las mejoras obtenidas en las diversas etapas del reprocesamiento para una línea relacionada con los programas sísmicos de los años 70.

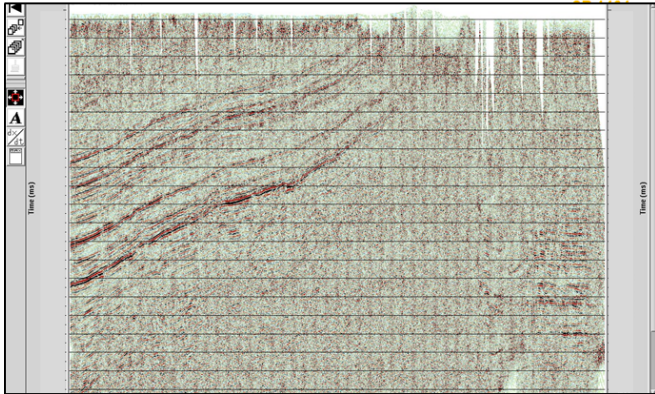


Figura 14a. *Brute Stack* con correcciones estáticas y Deconvolución. La parte derecha de la sección sísmica se encuentra afectada por la calidad del dato sísmico y las condiciones del área de adquisición.

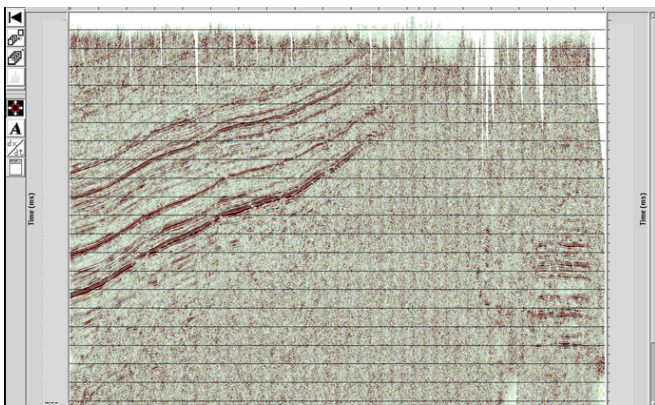


Figura 14b. Apilado con dos pasos de análisis de velocidad y estáticas residuales. Nótese la mejora de la continuidad de los eventos tanto en la parte somera como profunda.

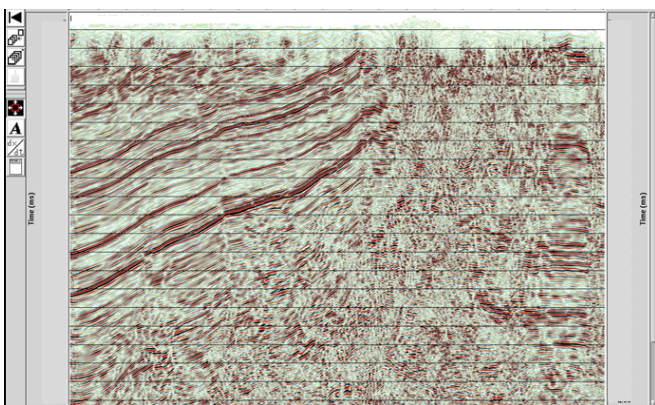


Figura 14c. PSTM con post-procesos. Se observa una mejora general en la calidad de la imagen sísmica. Se definen mejor las zonas de fallas en la estructura.

El reprocesamiento sísmico mejoró la imagen estructural, el contenido de frecuencias, la continuidad de los eventos y la definición de las zonas de falla respecto a versiones anteriores (Figura 15a y 15b). Se observaron mejoras importantes en la parte somera de las secciones y en la definición de las zonas de fallas tanto en los niveles asociados con el Cretácico como en los del Paleozoico. Los resultados obtenidos en las diferentes campañas 2D contribuyeron a la evaluación de los prospectos en el área de estudio. Además, aportaron seguridad y confianza en la imagen sísmica, ya que fueron descartados los efectos de estáticas o artefactos asociados con el proceso de migración.

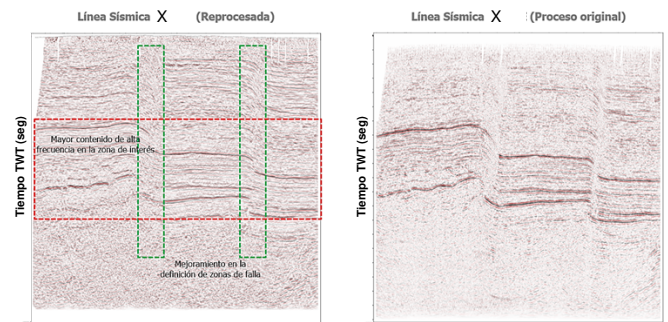


Figura 15a. Comparación línea sísmica X (Reprocesada vs. Versión previa).

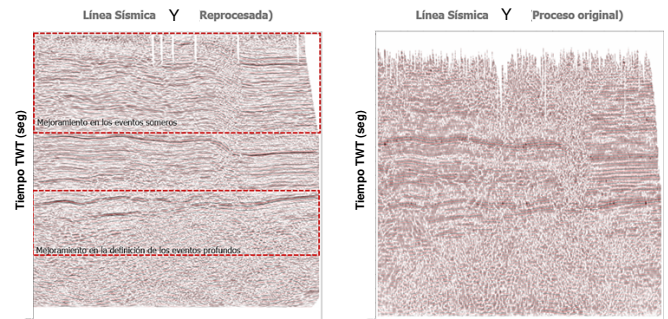


Figura 15b. Comparación línea sísmica Y (Reprocesada vs. Versión previa).

Conclusiones

Las técnicas empleadas tanto en la fase de preparación de los archivos de soporte y durante el reprocesamiento de los datos 2D contribuyeron a mejorar la imagen sísmica respecto a versiones anteriores y a la evaluación de los prospectos en el área de estudio.

La fase de reconstrucción planimétrica, altimétrica y de geometría aportó información consistente para la generación de los archivos SPS.

La secuencia de reprocesado y los módulos empleados permitieron establecer una serie de lecciones aprendidas para la fase de pre-procesos y post-procesos.

Para la fase de pre-procesos se requieren de flujos de trabajo para la atenuación sistemática de los diversos tipos de ruido, el método de GLI generó los resultados más idóneos para las correcciones estáticas en zonas de transición y llanuras de inundación. En el caso de topografía abrupta el método de tomografía es el más idóneo para la generación del modelo de *Near Surface*. El proceso de Deconvolución debe ser trabajado en diferentes dominios y deben preservarse las frecuencias bajas relacionadas con la señal.

Para la fase de post-procesos se deben realizar análisis de velocidad detallados y conformes con las estructuras. Las estáticas residuales se consideraron como uno de los pasos más importantes para definir mejor los detalles en la imagen sísmica previa a la migración. Los parámetros de migración deben ser definidos a partir de diversas pruebas tomando especial atención con la apertura de migración y el porcentaje de velocidades a emplear. Módulos adicionales como *CDP Trim Statics* y *Residual Velocity Analysis* aportan mejoras en la calidad de los *CDP gathers*.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a CEPSA E&P España y CEPSA LATAM Perú por el apoyo brindado para publicar este trabajo. Especial agradecimiento al grupo de profesionales de CEPSA y ABSOLUTE IMAGING por el trabajo realizado durante el proyecto de reprocesamiento sísmico de datos antiguos 2D en la cuenca de Ucayali.

Referencias

- Oz, Yilmaz. 2007, "A unified 2D land seismic data analysis workflow". First Break, Volume 25.
- PERUPETRO. Documentación relacionada con las campañas sísmicas en el área de estudio. Lima. 2017.
- ABSOLUTE IMAGING. *Seismic Reprocessing Report*. Calgary, Alberta 2018.