

ASPECTOS ESENCIALES EN EL REPROCESAMIENTO DE SÍSMICA 2D ANTIGUA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA UCAYALI, PERÚ

MASSIMO DI GIULIO C.^{1,a}, JOHNNY VILCA², RAÚL ASTOS², RAQUEL ENCINAS¹,
SALVADOR DIEZ DE LA CORTINA¹, BLAS GALIANO¹

¹CEPSA E&P, Madrid, España

²CEPSA PERÚ, Lima, Perú

^ae-mail: epmdgc@cepsaep.com

Recibido: marzo de 2021

Aprobado para publicación: junio 2021

RESUMEN

En 2017 CEPSA 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 de soporte asociados a los datos crudos, 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 *capa(s) meteorizada* y *capa(s) consolidada* para correcciones estáticas y pruebas rigurosas de migración. Procesos detallados de análisis de velocidad guiados por horizontes y correcciones robustas mediante estáticas residuales 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 reprocesamiento mejoraron la imagen estructural. Las lecciones aprendidas de este proyecto servirán como referencia para futuros trabajos de procesamiento sísmico en la cuenca Ucayali.

Palabras claves: Ucayali, reprocesado, geometría 2D, atenuación de ruido, correcciones estáticas y migración sísmica.

ESSENTIAL ASPECTS IN SEISMIC REPROCESSING 2D LEGACY. CASE STUDY: UCAYALI BASIN, PERU

ABSTRACT

In 2017 CEPSA re-processed 1,000 Km of 2D seismic in one exploration block in the Ucayali basin. Most of the 80 % of the data were recorded in the 70s and they are characterized by their low fold. The main objective of the project was the uplift of the structural imaging compared to previous versions. Preparation of the support data was a key stage during the re-processing. Due to the characteristics of the data, it was necessary the application of techniques for the reconstruction of the planimetry, altimetry and geometry of sources and receivers. Digital models were used for the assignment of elevations. Furthermore, a revision of the migration of the river basin in comparison to the intersection of the 2D lines from 1970 until 2017 was carried out. The re-processing demonstrated that specific workflows were needed for the attenuation of different types of noise paying special attention to the preservation of the signal at the lowest frequency. Robust models of weathering and sub-weathering were required for static correction and migration tests. Horizon-guided velocity analysis, the application of residual statics and variation of velocity of 2-3 % led to the uplift of the migrated data. Ray tracing was used to model the effects of the statics and for the analysis of possible artifacts. The lessons learned in this project will be the reference for future processing projects in the Ucayali basin.

Keywords: Ucayali, reprocessing, 2D geometry, noise attenuation, statics correction and seismic migration.

INTRODUCCIÓN

Como parte de los trabajos de exploración en un bloque de la Cuenca Ucayali, CEPSA LATAM Perú planificó el reprocesamiento de 1.000 km de sísmica 2D. Los datos fueron adquiridos en distintos proyectos desarrollados entre

1973 y 2010. El 80 % de las líneas pertenecen a programas sísmicos registrados de 1973 a 1976. Estas líneas se caracterizan por tener valores bajos de cobertura nominal (6) y espaciamientos grandes entre fuentes (≥ 200 m). En la adquisición se usaron 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 proyectos de adquisición sísmica realizados entre 1980 y 2010. Estas líneas presentan valores de cobertura nominal más altos, alcanzando un máximo de 60 en las sísmicas más recientes, intervalos más cortos entre fuentes y receptores, 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 procesamientos anteriores e imágenes en formato TIFF. Se contaba con un registro muy detallado elaborado por [PERUPETRO \(2017\)](#) con la información disponible de cada línea.

La información de planimetría y altimetría no estaba completa, 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 Shell Processing Support (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 el reprocesamiento sísmico.

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

- Atenuación de ruido coherente e incoherente.
- Preservar el contenido de frecuencias característico de la señal (10-30 Hz) y mejorar el contenido de frecuencia altas (hasta 40-45 Hz).
- Generación de modelos robustos de *capa(s) meteorizada(s)* y *capa(s) consolidada(s)* (Near Surface) para el cálculo de correcciones estáticas.
- Análisis de velocidad detallado dependiendo de la geometría de los datos (cada 20-35 CDP) y pruebas de parámetros de migración.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los datos 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 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.

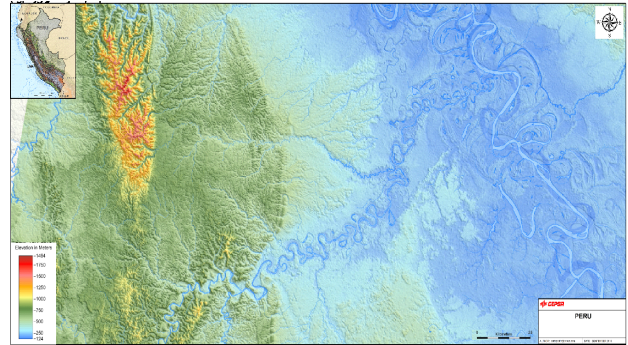


Figura 1. Descripción del área de estudio. Modelo digital de elevaciones DEM. Cortesía CEPSA Departamento de Geodesía.

Las líneas sísmicas 2D fueron adquiridas en la parte noroeste de la cuenca Ucayali, en el centro-este del Perú. En términos de tectónica de placas, se encuentra en el retroarco (*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 piel fina (*think-skinned*) con mucho menos relieve estructural y menos deformación que el dominio occidental, caracterizado por estar altamente deformado y elevado ([Figura 2](#)).

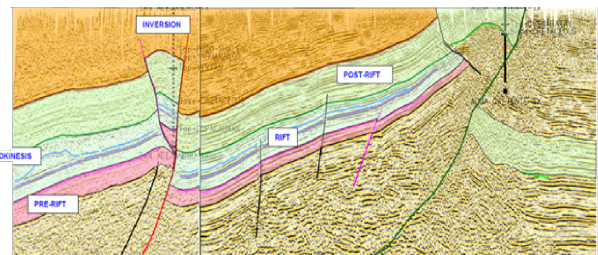


Figura 2. Unidades tectonoestratigráficas principales. Cortesía CEPSA PERÚ.

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:

- Sedimentos pre-rift (Paleozoico).

- b) Sedimentos relacionados con la fisura Permo-Triásica.
- c) Halocinesis (Halokinetics) Jurásico.
- d) Sedimentos cretácicos posteriores al rift.
- e) Sedimentos relacionados con la inversión Cenozoica.

CARACTERÍSTICAS DE LOS LEVANTAMIENTOS SÍSMICOS Y LAS LÍNEAS 2D REPROCESADAS

La longitud total de líneas "dip" y "strike" en los levantamientos fue de 1.000 km. Las líneas antiguas pertenecían a programas sísmicos adquiridos durante las décadas de los setenta, ochenta y noventa. Las modernas corresponden al programa sísmico adquirido en 2010. La fuente empleada en todos los programas fue de tipo impulsiva (explosivo sísmico).

La mayoría de las líneas corresponden a programas adquiridos entre 1974-1976 (80%), con una cobertura nominal ("Max. Fold") de 6 y un máximo de 24 canales en el tendido "End-Off" empleado. El "Offset" mínimo fue de 300 m o 375 m. Tanto el "Offset" máximo como el intervalo entre receptores dependían de la profundidad del objetivo, las características geológicas y las limitaciones de los equipos de grabación en la década de los setenta. Los equipos empleados durante estas campañas contaban con un máximo de 24 canales, esta limitación, influyó en la elección de intervalo entre receptores superiores a los 100 metros.

En los años ochenta y noventa, los avances tecnológicos en los equipos de grabación permitieron reducir el intervalo entre receptores a menos de 50 m e incrementar el valor de la cobertura nominal en 12 o 30. Además, el tendido ("spread") pasó a ser una combinación entre "End-Off" y "Split Spread Simétrico". El intervalo entre SP (distancia entre puntos de fuente) también disminuyó a menos de 100 m para mejorar la cobertura máxima (fold). Las líneas adquiridas por CEPESA en 2010 emplearon parámetros optimizados en función de adquisiciones anteriores en el área. Cabe destacar que el intervalo entre receptores fue reducido, se incrementó en el valor de la cobertura nominal y se emplearon pruebas de parámetros de fuente sísmica y número de receptores para determinar el "Offset" máximo efectivo que permitiera la iluminación de los objetivos exploratorios.

Para el registro de los datos sísmicos, se emplearon equipos de grabación de diferentes fabricantes dependiendo del año y de los avances tecnológicos. Los datos de los años setenta y ochenta se registraron usando equipos DFS III y DFS V de TEXAS INSTRUMENTS, mientras que, entre los años noventa y 2010, se usaron los equipos SERCEL SN-348 y 428 XL. En todos los programas se empleó un intervalo de muestreo de 2 mseg y la longitud del registro fue de 6 seg. En las estaciones receptoras se colocaron geófonos de distintos fabricantes, para onda P y con frecuencias naturales de 10 y 14 Hz.

Los archivos correspondientes a los datos sísmicos fueron recibidos en formato SEG-Y. Se identificaron los FFID (File Field Identifier) de cada una de las líneas pertenecientes a los distintos programas y se revisaron también con el registro de FFID asociado con la base de datos elaborada por PERUPETRO.

Se realizó el control de calidad (QC) y visualización de cada FFID, estableciendo la siguiente clasificación:

- a) FFID Good
- b) FFID Bad
- c) FFID Lost
- d) FFID Test
- e) FFID VOID
- f) FFID SKIP

Los FFID Good son los archivos para emplear en el reprocesado. FFID Bad y Lost se asocian con registros de mala calidad y aquellos registros que no fueron localizados en los archivos SEG-Y aportados por PERUPETRO. Las pruebas de ruido y de equipos fueron clasificadas como FFID Test. Los restantes VOID y SKIP representan los archivos reportados como no asociados a la producción y aquellos que no fueron adquiridos por la presencia de obstáculos naturales o culturales durante la grabación.

Se clasificaron como FFID Good el 60,05 %. Los FFID Bad y Lost representaron el 1,47 %. Es importante mencionar que el restante 38,48 % de los FFID fueron clasificados como Test, VOID y SKIP ya que corresponden con archivos que no presentan datos sísmicos de interés para el reprocesamiento.

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 levantamientos sísmicos. Adicionalmente, 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 estaban 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 de la 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 una de las líneas 2D. En la [Figura 3](#) se muestra el flujo de trabajo empleado para la preparación de los archivos de soporte.

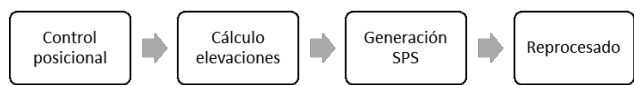


Figura 3. Flujo de trabajo para la preparación de los archivos de soporte.

Se hizo la asignación de la geometría en los encabezados (headers) de las trazas, mediante flujos de trabajo, en un *software* de procesamiento sísmico GLOBE CLARITAS® 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.

Una vez finalizadas las etapas anteriores, 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 de 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 emplearon las metodologías propuestas en el artículo "A unified 2D land seismic data analysis workflow" (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 durante la década de los setenta, ochenta, noventa y en el año 2010. A lo largo de este 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 receptores.

Cabe destacar la importancia de conocer, previamente al reprocesamiento, 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 para el control de posicionamiento 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 la parte noroeste de la cuenca de Ucayali.

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 con 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 el flujo de trabajo empleado en la fase de control posicional.

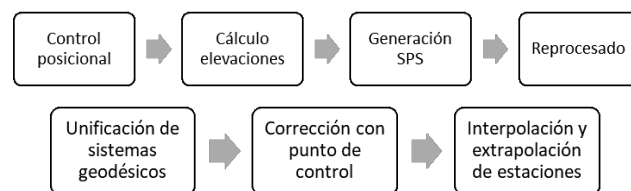


Figura 4. Flujo de trabajo para la preparación de los archivos de soporte.

ELEVACIONES

Debido a la ausencia de información altimétrica en algunas fuentes y receptores, 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:

- a) 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 complementa 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 (Figura 5). 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.

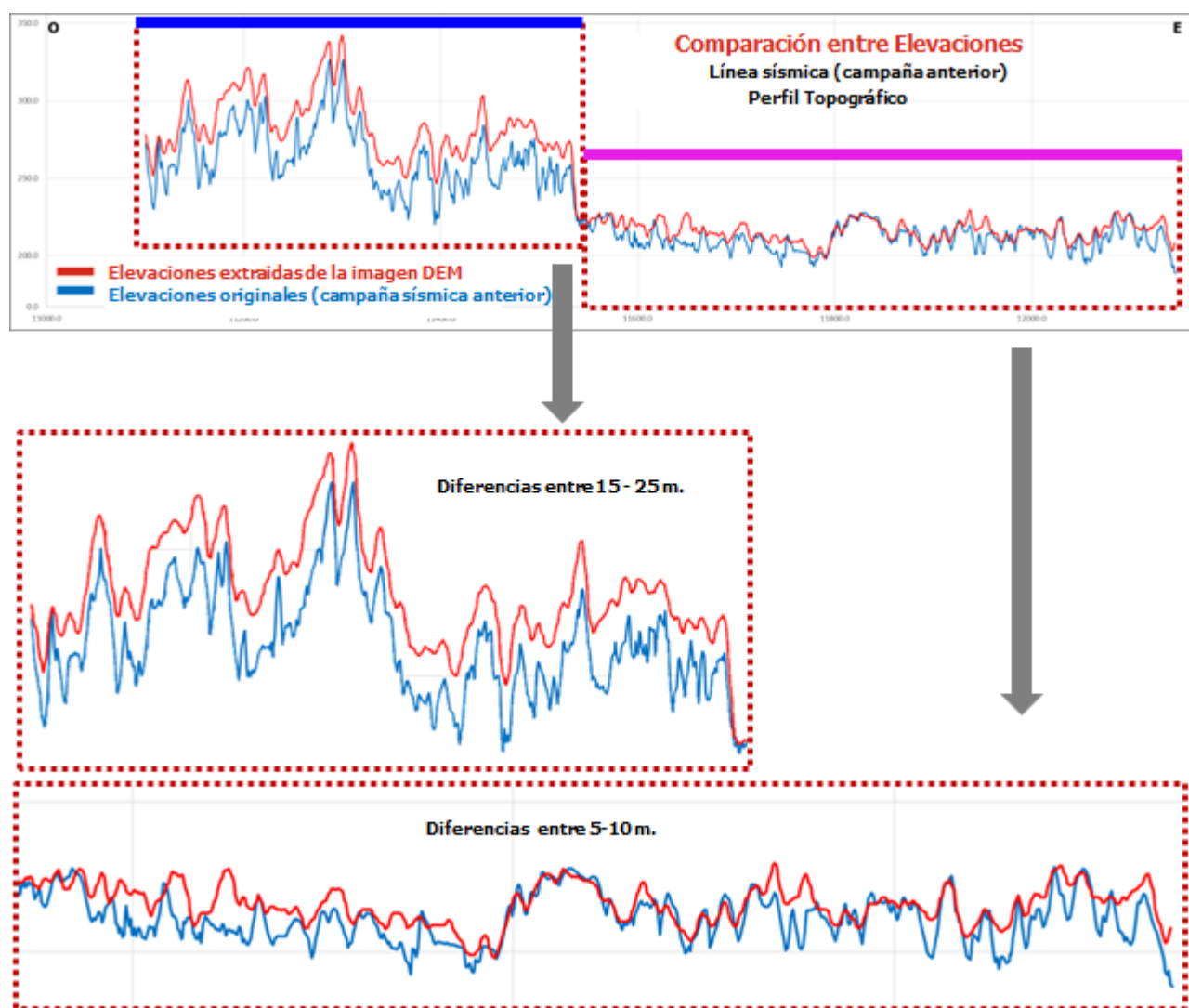


Figura 5. Calibración de las elevaciones con líneas sísmicas adquiridas en campañas recientes. Nótese a la izquierda la zona con topografía abrupta y a la derecha zonas bajas.

d) Del modelo digital resultante, se extrajeron los valores de altura para cada posición de fuentes y receptores 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.

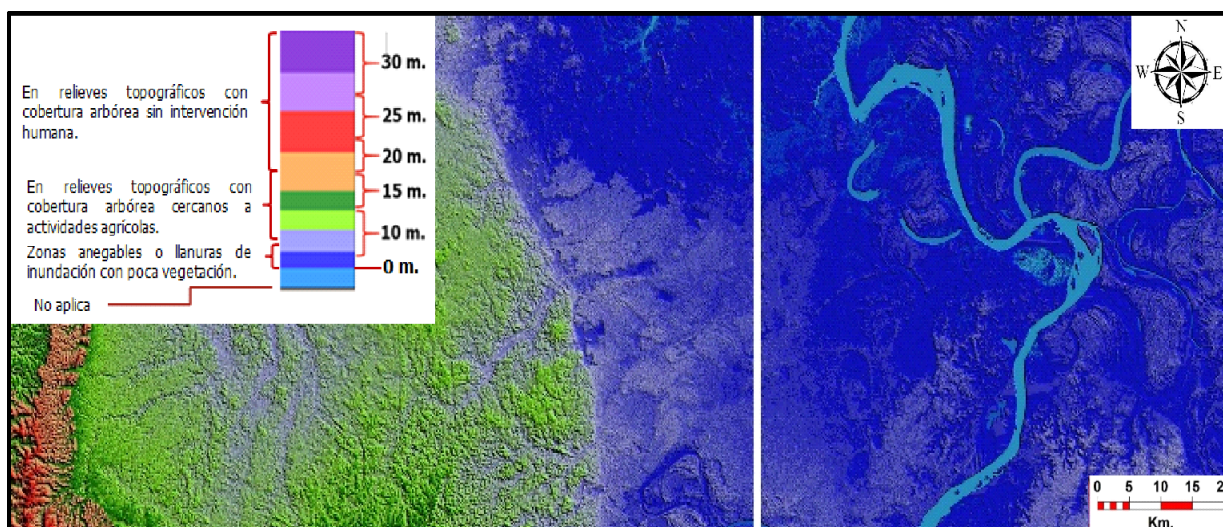


Figura 6. Diferencias de elevaciones entre el modelo digital generado y los perfiles topográficos de las líneas sísmicas. Los colores azul oscuro y claro muestran las zonas con diferencias de elevaciones bajas (zonas anegables, llanuras de inundación y con poca vegetación). Colores verdes oscuro y claro se caracterizan con diferencias entre 10-15 m asociado con relieve topográfico-cobertura arbórea y en zonas con actividades agrícolas. El resto de los colores muestran las zonas con mayores diferencias ya que presentan relieve topográfico con cobertura arbórea densa. Las zonas con cobertura arbórea densa se caracterizan por tener una alta incertidumbre en el cálculo de la elevación mediante un modelo digital.

ARCHIVOS DE SOPORTE (SPS)

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. 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. En dichos archivos se encuentran las trazas sísmicas asociadas con las fuentes y los receptores, empleados durante la adquisición de los datos sísmicos.

Mediante aplicaciones generadas en PYTHON y flujos de trabajo diseñados en el programa de procesamiento sísmico GLOBE CLARITAS© el grupo de QC CEPESA logró extraer la información contenida en las cabeceras de las trazas y se generaron las estadísticas de cada archivo FFID. Se comprobó que no existieran FFID duplicados. En caso de ser así, los archivos se renombraron

o eliminaron. Se descartaron los FFID asociados con las pruebas instrumentales, pruebas 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 de cálculo se realizó la reconstrucción y QC de la geometría reportada por el Observador. Además, se incluyeron los datos relacionados con la profundidad de carga y tiempos de "up-hole". Estos datos se cotejaron con los FFID del paso anterior. Finalmente, la información contenida en las cabeceras que describe la geometría de adquisición se vinculó con la información de topografía y se generaron los archivos SPS. Los archivos SPS se obtuvieron con una aplicación generada por el equipo de QC de CEPESA denominada SPS Generator V0.1. Esta se adaptaba en función de las diferentes geometrías de adquisición de cada uno de los levantamientos sísmicos (Figura 7).

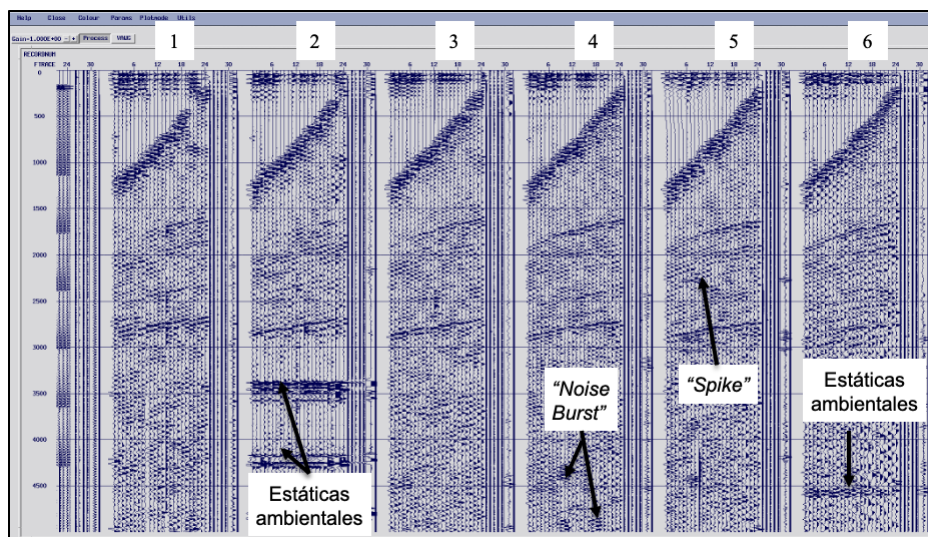


Figura 9. Ejemplo de registros sísmicos adquiridos en la campaña 1974-1976. 1) registro con una S/R baja, 2) y 6) registros afectados por estáticas ambientales, 3) registro con buena relación S/R, 4) trazas afectadas por "noise burst" y 5) trazas afectadas por "spikes".

Datos Levantamientos Sísmicos 2D 1974-1976

La calidad de los datos de este levantamiento se considera de buena a pobre, dependiendo de la zona donde fueron adquiridos. A pesar del bajo valor de cobertura nominal (6), los registros muestran eventos con alta impedancia acústica entre los 2.500 y 3.500 mseg. En la parte somera (<1.500 mseg) se identifican algunos eventos con una impedancia acústica menor. Dichos eventos fueron tratados con especial atención durante la etapa de reprocesamiento para recuperar la mayor cantidad de información.

Esta información se encuentra limitada debido a los altos valores de "offset" mínimo que caracterizan a estos y que están asociados a las limitaciones tecnológicas de la época.

En la [Figura 10](#) se muestra un ejemplo de la calidad

de los registros sísmicos en tres zonas características del área de estudio. En la zona **A**, relacionada con una topografía variable (colinas), los datos presentan una relación señal-ruido (S/R) media y baja. Generalmente ruidosas, las trazas presentan efectos de estáticas y "spikes". También se observa una baja calidad en los primeros quiebres relacionada con el rango de "offset" cercano y, en algunos casos, los datos están afectados por cambios en el relieve. La zona **B** muestra registros con baja relación S/R cuando son posicionados en los meandros y zonas adyacentes a los ríos. Nótese también el efecto de las estáticas ambientales. Finalmente, en la zona **C**, asociada con llanuras aluviales, la calidad de los datos depende del material donde fue acoplada la carga en profundidad durante la adquisición. En este ejemplo, se muestran registros con baja relación S/R (**C1**) y con una relación S/R (**C2**) más alta respecto a los anteriores.

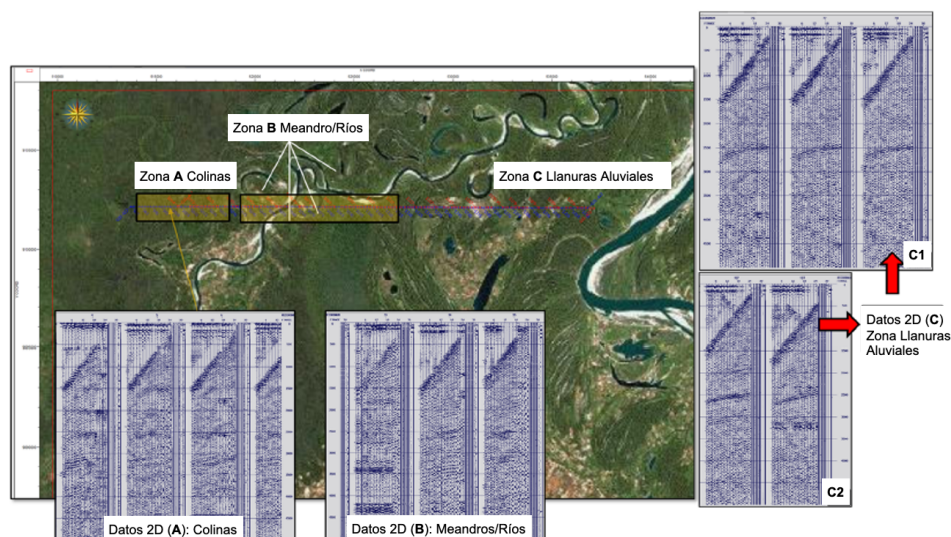


Figura 10. Calidad de los registros sísmicos en zonas características del levantamiento sísmico 1974-1976.

El contenido de frecuencia se caracteriza por un ancho de banda estrecho, tanto en la parte somera como en la mediana y profunda de los registros. La frecuencia mínima identificada fue de 15 Hz y la máxima varía entre 24 y 29 Hz. Para las frecuencias superiores a 30 Hz se observó un fuerte decaimiento en el espectro de amplitud. El contenido de frecuencia está asociado con las limitaciones tecnológicas de la época, la respuesta del subsuelo y la cantidad de carga empleada durante la adquisición.

En los levantamientos sísmicos de 1974 a 1976, se utilizaron 8 Kg de carga en un pozo con una profundidad entre 12 y 15 metros. Posiblemente durante la adquisición se consideraron objetivos profundos y, debido a los parámetros del levantamiento, fue necesario incrementar la cantidad de energía de la fuente. Esto trae como consecuencia que en el espectro de amplitud se observa una frecuencia dominante inferior respecto a los otros levantamientos sísmicos.

Datos Levantamientos Sísmicos 2D 1981-1982

La calidad de los datos se considera de buena a pobre dependiendo de la zona donde fueron adquiridos. La cobertura nominal fue de 12 y se observa una mejor definición de los eventos en los registros debido a la disminución de la distancia entre estaciones receptoras, el aumento del número de canales a 48 y el empleo de un tendido tipo "Split Spread". Se identifican eventos con alta impedancia acústica en la parte somera, media y

profunda hasta 3.000 mseg. Los eventos someros (<1.500 mseg) fueron tratados con especial atención durante la etapa de reprocesamiento, para recuperar la mayor cantidad de información en la sección somera. Para tal fin, se emplearon correcciones estáticas, interpolación, análisis de velocidad y funciones de mute que permitieran recuperar de forma más eficiente los datos en la parte somera.

Se identificó la presencia de ruido coherente e incoherente en los datos. Se consideró como alto el nivel de ruido incoherente en los datos. Además, se observaron "spikes" efectos de estáticas ambientales en las trazas. La topografía y las características del "near surface" generaron los efectos de "ondulación" que se pueden observar en los eventos sísmicos asociados con las reflexiones y refracciones (Figura 11).

El contenido de frecuencia se caracteriza por un ancho de banda estrecho, tanto en la parte somera como en la mediana y profunda de los registros. La frecuencia mínima identificada fue de 10 Hz y la máxima está en un rango entre 28 y 36 Hz. En la parte somera (500-1.500 mseg), la frecuencia máxima recuperada fue de 36 Hz; en la parte mediana (1.500-2.500 mseg), esta decae hasta 30 Hz y, finalmente, en la parte profunda es de 28 Hz. Los datos de este levantamiento muestran que, posiblemente, entre los 1.500 y 2.500 mseg las características del subsuelo atenúan más fuertemente las frecuencias altas del espectro asociado a los datos sísmicos.

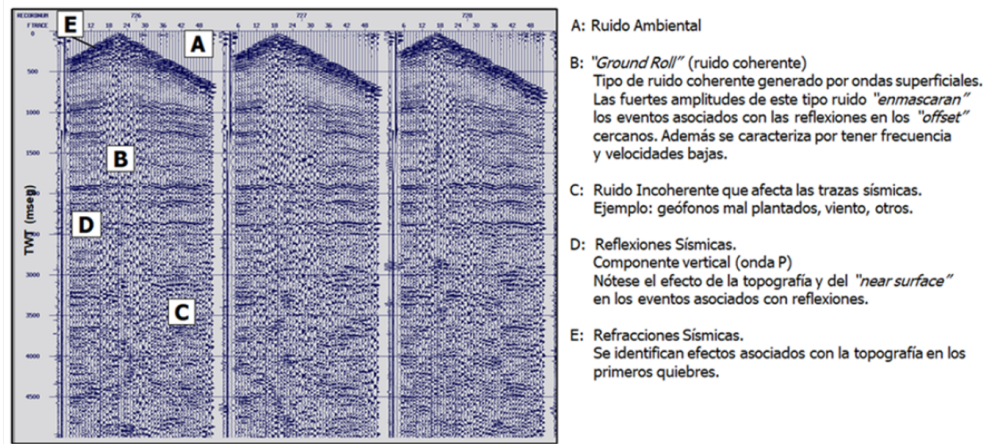


Figura 11. Ejemplo de registros sísmicos adquiridos en la campaña 1981-1982.

Datos Levantamiento Sísmico 2D 1990

La calidad de los datos de este levantamiento se considera muy buena a buena, dependiendo de la zona donde fueron adquiridos. La cobertura nominal fue de 30 y se observa una mejor definición de los eventos en los registros debido a la disminución en el intervalo entre estaciones receptoras (25m), el aumento del número de canales en 120 y el empleo de un "offset" máximo de 3.000 m.

Se identifican eventos con alta impedancia acústica en la parte somera, media y profunda hasta 3.500 mseg. Los eventos someros (<1.500 mseg) fueron tratados con especial

atención durante la etapa de reprocesamiento para recuperar la mayor cantidad de información en la sección somera.

Se identificó la presencia de ruido coherente e incoherente en los datos. Se observó un fuerte "Ground Roll" y ruido producto de la fuente en el rango de los "offset" cercanos de los registros sísmicos, que enmascaran los eventos asociados con las reflexiones. Además, se observaron "spikes" en las trazas. La topografía y las características del "near surface" generaron los efectos de "ondulación" que se pueden observar en los eventos sísmicos asociados con las reflexiones y refracciones. Se consideró la calidad de los primeros quiebres como muy buena.

El contenido de frecuencia presenta un ancho de banda más amplio respecto a los programas adquiridos en la década de los setenta y ochenta. La frecuencia mínima identificada fue de 10 Hz y la máxima varía entre 28 y 46 Hz. En la parte somera (500-1.500 msec) la frecuencia máxima recuperada fue de 46 Hz; en la mediana (1.500-2.500 msec) decae hasta 42 Hz y, finalmente, en la parte profunda (3.500 msec) la frecuencia es de 25 Hz (Ver [Figura 12](#)).

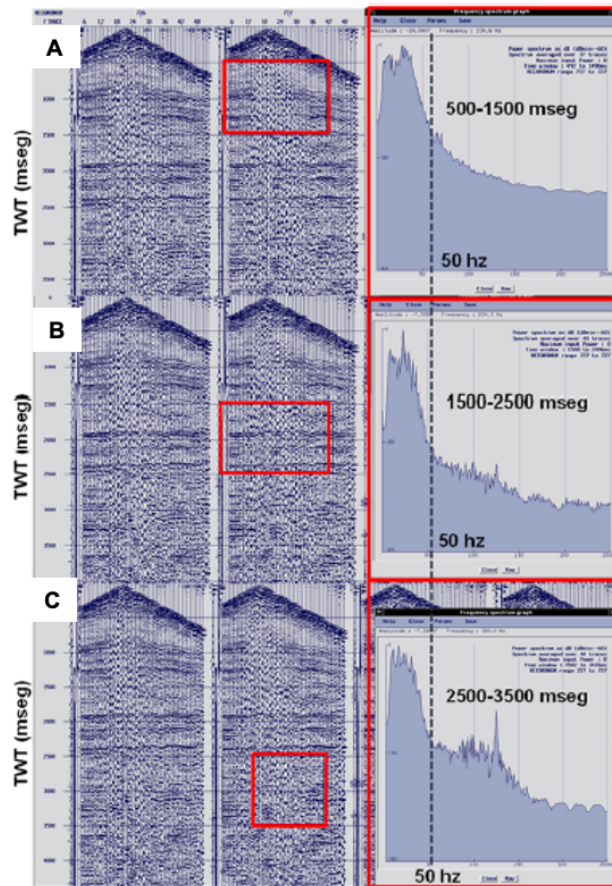


Figura 12. Ejemplo de registros sísmicos adquiridos en la campaña 1990. Espectros de Amplitud: A) Somera, B) Mediana y C) Profunda.

Los datos de este levantamiento muestran, con mayor claridad, que para tiempos mayores a 2.500 msec las características del subsuelo atenúan más fuertemente las frecuencias altas del espectro asociado a los datos sísmicos. Este efecto debería estar asociado a litologías con un factor de atenuación alto.

Datos Levantamiento Sísmico 2D 2010

La calidad de los datos se considera de muy buena a buena, dependiendo de la zona donde fueron adquiridos. La cobertura nominal fue de 60 y se observa una mejor definición de los eventos en los registros debido a la disminución en la distancia entre estaciones receptoras, el aumento del número de canales, el empleo del tendido tipo "Split Spread" y un "offset" máximo determinado

mediante diferentes pruebas. Se identifican eventos con alta impedancia acústica en la parte somera, media y profunda hasta un máximo de 4.500 msec.

Los eventos someros (<1.500 msec) fueron tratados con especial atención durante la etapa de reprocesamiento para recuperar la mayor cantidad de información en la sección somera.

Se identificó la presencia de ruido coherente e incoherente en los datos. Se identifica un fuerte "Ground Roll" y ruido, producto de la fuente, en el rango de los "offset" cercanos de los registros sísmicos, lo que enmascara los eventos asociados con las reflexiones. Además, se observaron "spikes" en las trazas. La topografía y las características del "near surface" generan los efectos de "ondulación" que se pueden observar en los eventos sísmicos asociados con las reflexiones y refracciones. Se consideró la calidad de los primeros quiebres como muy buena.

Los resultados asociados al contenido de frecuencias son muy parecidos a los observados en los datos adquiridos en 1990.

Reprocesamiento de Datos Sísmicos 2D

La compañía ABSOLUTE IMAGING se encargó del reprocesamiento de los datos sísmicos relacionados con los diferentes levantamientos 2D. Se seleccionó un grupo de líneas para establecer la secuencia de procesamiento 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 las cabeceras 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 dedicó más tiempo a la realización de pruebas para la selección de los parámetros más idóneos a emplear en los diferentes módulos de la secuencia de procesamiento.

Durante el proceso del QC de la geometría y la selección de primeros quiebres, se generaron gráficos para verificar que la posición de los puntos asociados a las fuentes y estaciones receptoras era la correcta.

En el cuadro B de la [Figura 13](#), 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.

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 ambientales y ruido instrumental, se realizaron diferentes pruebas hasta limpiar, de forma eficiente, los registros ([Absolute Imaging, 2018](#)).

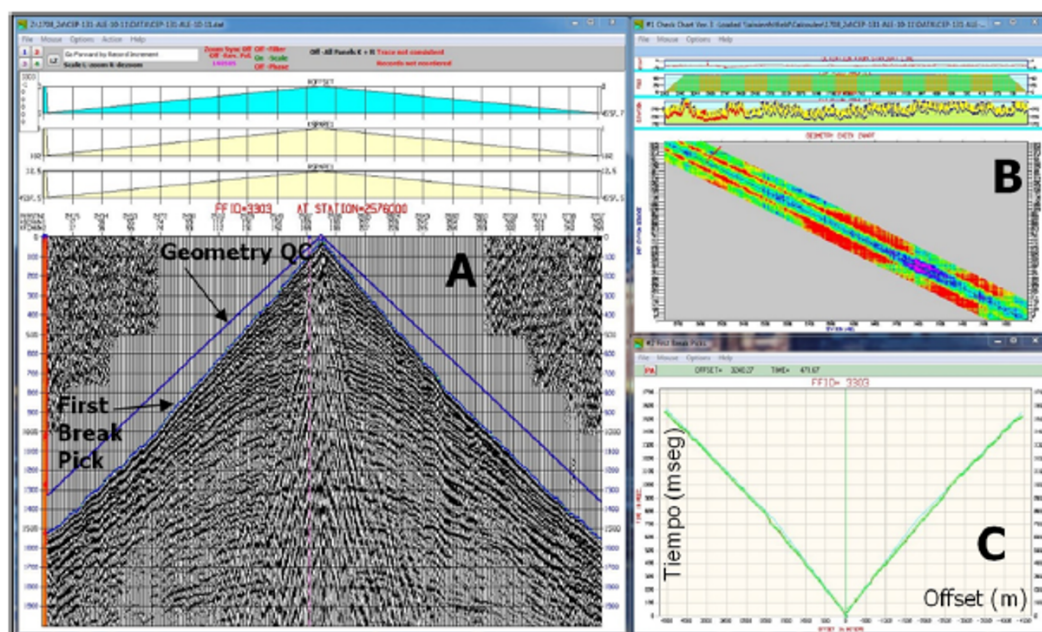


Figura 13. Ejemplo de QC de geometría. Cuadro A QC de la geometría y selección de primeros quiebres. Cuadro B gráficos para verificar la posición de los elementos del tendido 2D y cuadro C tiempo de los primeros quiebres vs. "Offset".

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 14](#) los resultados de una de las fases de atenuación de ruido aplicando el *FX Median Filter*. Durante la generación de las secciones apiladas se hizo un esfuerzo para atenuar el ruido identificado en la parte somera de las secciones apiladas 2D mediante el módulo de *Surface Wave Noise Attenuation* (SWNA). Este módulo fue aplicado después de la deconvolución y atenua ruido coherente residual asociados con las ondas superficiales.

Para los registros sísmicos se empleó el "*Eigen Image Filter*" de forma eficiente para la atenuación del ruido coherente. Para la atenuación del ruido aleatorio, el filtro "*Pre-Stack*" Cadzow permitió obtener buenos resultados en todos los distintos levantamientos 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 levantamientos 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.

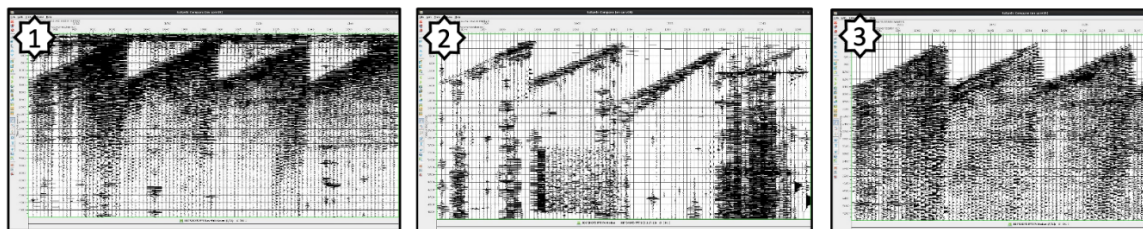


Figura 14. Ejemplo de eliminación de "spikes", estáticas ambientales y ruido instrumental mediante el *FX Median Filter* en los registros sísmicos. 1- Registro antes de la atenuación de ruido. 2- Diferencia con los "spikes" y otros ruidos atenuados en los datos. 3- Registro después de los procesos de atenuación de ruido.

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 a 2.000 m/seg en las 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 que se extiende por toda el área de estudio. (Figura 15).

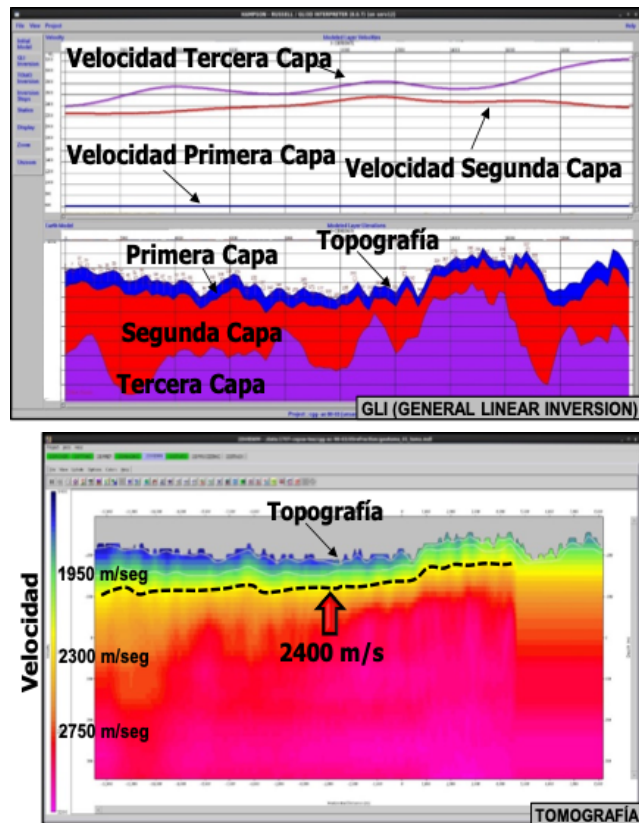


Figura 15 Ejemplo de los modelos de *Near Surface* generados mediante GLI y Tomografía para dos líneas sísmicas.

Se emplearon, como control de los resultados, secciones 2D apiladas con estáticas de elevación y con varios parámetros de GLI. En algunas secciones se empleó el modelado mediante trazado de rayos para estudiar los efectos de la topografía y el "*near surface*" en los datos y cuantificar los valores de estáticas a emplear en la corrección.

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 balanceo espectral (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 análisis de semblanza (*Semblance Analysis*), con *common offset display* y *constant velocity stack*, se aplicó con puntos de control cada 1.000 y 500 metros (Absolute Imaging, 2018).

Para refinar aún más la imagen sísmica, se aplicó un análisis de velocidad basado en el horizonte (*Horizon Based Velocity Analysis*) con puntos de control cada 500 metros. Para el proceso de PSTM se hizo un análisis residual de velocidad (*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 calidad del pre-procesamiento influyó mucho en la selección eficiente de las velocidades que producen la corrección NMO y en la detección de posibles múltiples en los datos sísmicos.

La calidad del pre-procesamiento influyó mucho en la selección eficiente de las velocidades que producen la corrección NMO y en la detección de posibles múltiples en los datos sísmicos. La Figura 16 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.

La Figura 16 también ilustra un ejemplo de los problemas para la selección de velocidades en los CDP localizados en la zona de falla o flexión de la estructura, caracterizada, posiblemente, por un fuerte buzamiento.

Se aplicaron varios pasos de estáticas residuales consistentes con superficie con resultados estables. Las estáticas residuales aportaron mejoras importantes en la definición de los aspectos estructurales. Se realizaron diferentes pruebas para seleccionar el módulo a emplear.

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, en las campañas de los años 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 generada con el PSTM.

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

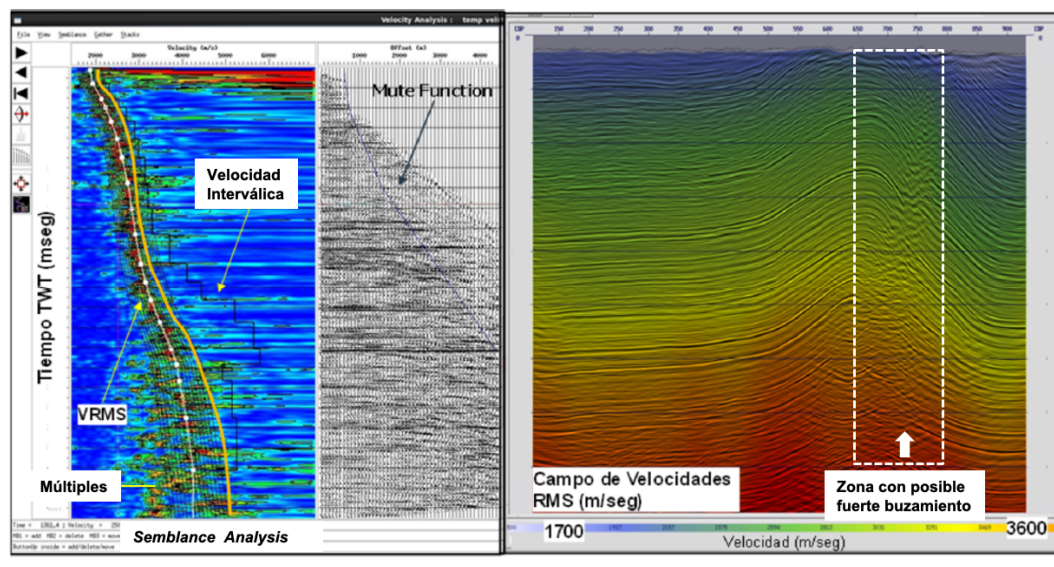


Figura 16. *Semblance Analysis y Campo de velocidades RMS superpuesto a la sección sísmica 2D migrada. El campo de velocidades conforme con las estructuras en los niveles exploratorios y detallados para obtener resultados eficientes durante la migración. Nótese la presencia de posibles múltiples principalmente en la parte profunda.*

Los resultados se consideraron de buena calidad, ya que permitieron incrementar la resolución espacial, colapsaron, con mucha eficiencia, las hipérbolas de difracción y se definieron características importantes en las estructuras complejas. En la [Figura 17](#) se muestra un ejemplo de la calidad del proceso para colapsar las hipérbolas de difracción y la migración de las estructuras.

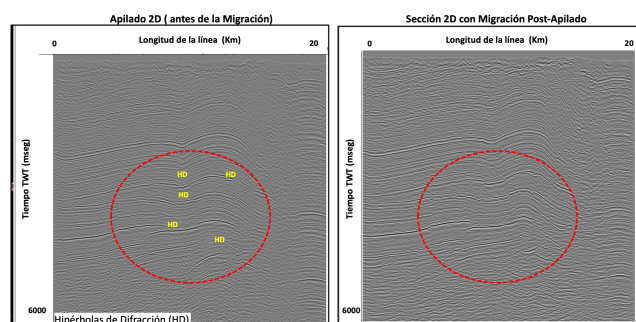


Figura 17. *Migración Post-Apilado. A la izquierda, la sección sísmica sin migrar y, a la derecha, después de la migración. Nótese cómo se colapsan las hipérbolas de difracción y cómo mejora la definición de los aspectos estructurales.*

Los análisis demostraron que, en los datos de algunos levantamientos 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 reprocesamiento. Se debe prestar atención en procesos que atenúen con efectividad el ruido y eliminen las anomalías de amplitud ("spikes", "noise burst" y trazas truncadas), debe preservarse la distribución de "offsets", deben utilizarse aperturas de migración eficientes y debe tenerse 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 o aplanamiento en los eventos en los CDP gathers. Aportó muy buenos resultados, especialmente para los datos de los levantamientos de 1990 a 2010.
- RESIDUAL VELOCITY ANALYSIS:** fue aplicado un análisis de velocidad residual en el flujo de trabajo de los PSTM. Este módulo mejoró la continuidad de los eventos principalmente en las líneas sísmicas de los programas de 1990 a 2010.
- PHASE STATIC AND GRID BALANCING:** proceso para establecer el amarre o 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 las [Figuras 18a, 18b y 18c](#) se presenta una secuencia de las mejoras obtenidas en las diversas etapas del reprocesamiento para una línea relacionada con los levantamientos sísmicos de los años 70.

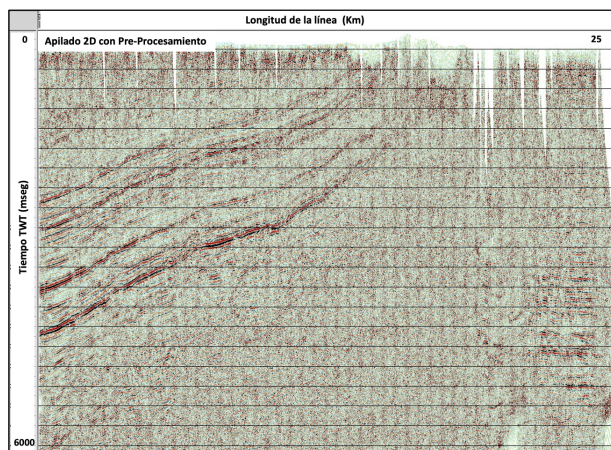


Figura 18a. Brute Stack con correcciones estáticas y Deconvolución. La parte derecha de la sección sísmica se encuentra afectada por la calidad del dato sísmico y las condiciones del área de adquisición.

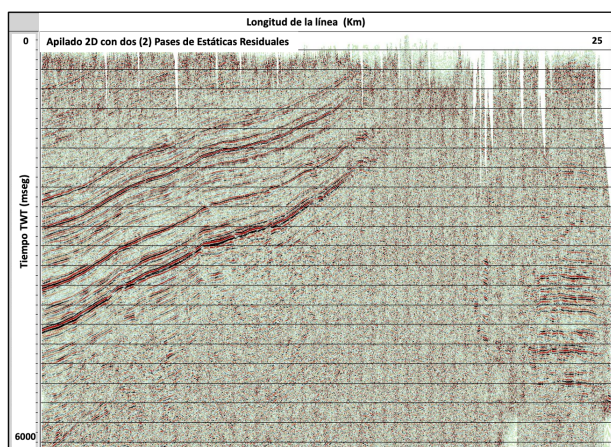


Figura 18b. Apilado con dos pasos de análisis de velocidad y estáticas residuales. Nótese la mejora de la continuidad de los eventos tanto en la parte somera como profunda.

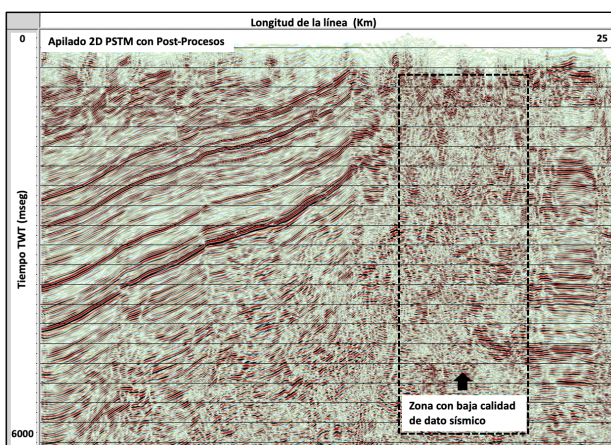


Figura 18c. PSTM con post-procesos. Se observa una mejoría general en la calidad de la imagen sísmica. Se definen mejor las zonas de fallas en la estructura.

Las Figuras 19a muestra como el pre-procesado, la metodología empleada para los análisis de velocidad y la aplicación de módulos robustos de estáticas residuales permiten obtener un apilado sin migrar de buena calidad y que servirá de control para el proceso de migración y post-procesos.

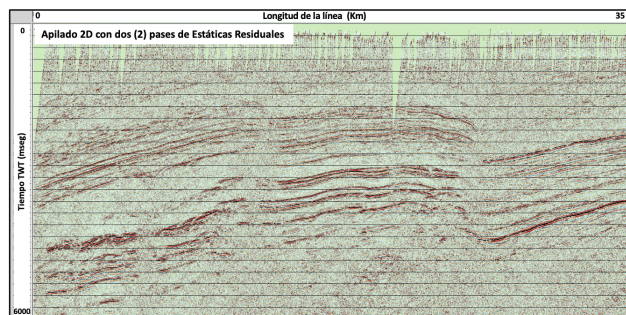


Figura 19a. Apilado con aplicación de pre-proceso, análisis de velocidad y estáticas residuales (dos pases).

La Figura 19b muestra las mejoras en la imagen luego de la migración PSTM y la aplicación de los post-procesos. Nótese las mejoras en la continuidad de los eventos y en la imagen estructural.

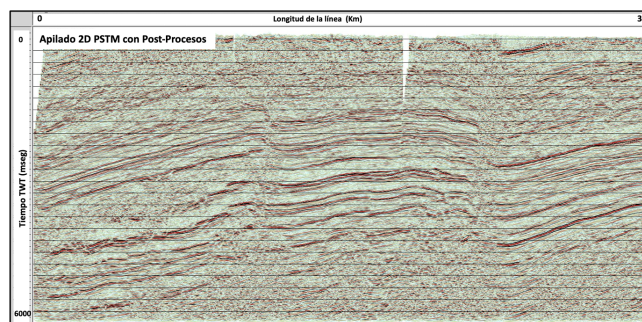


Figura 19b. PSTM con post-procesos de la sección apilada de la figura 19a. Se observan mejoras notables en la continuidad de los eventos y en la imagen estructural.

La secuencia de procesado resumida se detalla en la Tabla 1. Consta de tres fases principales. Pre-Proceso, Procesado en el dominio del CDP y Post-Procesos. Tanto la atenuación de ruido, correcciones estáticas, análisis de velocidad, procesado en el dominio del CDP y Post-procesos contienen una serie de secuencias de procesos específica tanto para la determinación de parámetros, aplicación y QC. La secuencia de procesado para los distintos levantamientos sísmicos requirió de algunos cambios puntuales en las fases principales.

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 20a y 20b). 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.

Tabla 1. Secuencia de Procesado Resumida.

N°	Secuencia de Procesado Resumida
1	Revisión y clasificación de de los datos
2	Creación de la Geometría y QC
3	Selección de primeros quiebres y QC
4	Edición de trazas
5	Recuperación de Ganancia
6	Atenuación de ruido Coherente
7	Atenuación de ruido Incoherente
8	Deconvolución Consistente con Superficie
9	Correcciones Estáticas
10	Procesado en el dominio del CDP
11	Análisis de Velocidad (2-3 pases)
12	Estáticas Residuales (2-3 pases)
13	Atenuación de ruido en el dominio del CDP
14	Ecuilización de trazas/TRIM Statics (opcional)
15	Apilado
16	Migración (Post-Apilado) y/o PSTM
17	Análisis residual de velocidades
18	Post-Procesos-atenuación de ruido residual y ganancia
19	Phase Static & Grid Balancing
20	Productos finales

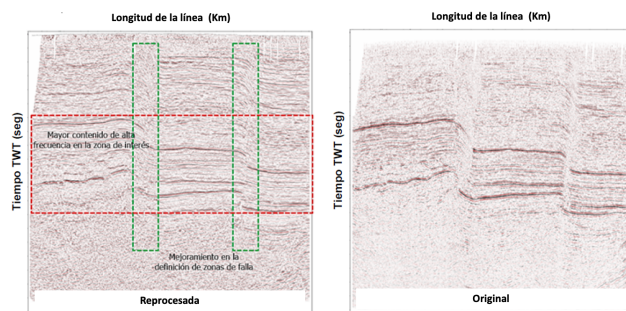


Figura 20a. Línea de ejemplo que muestra la imagen sísmica antes y después del reprocesamiento sísmico. La versión original tiene Migración Post-Apilado y la reprocesada tiene migración Pre-Apilado (PSTM).

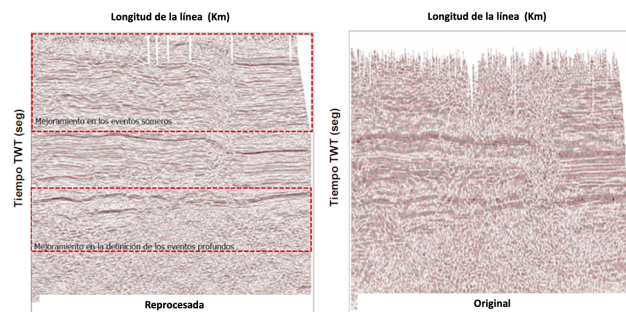


Figura 20b. Línea de ejemplo que muestra la imagen sísmica antes y después del reprocesamiento sísmico. La versión original tiene Migración Post-Apilado y la reprocesada tiene migración Pre-Apilado (PSTM).

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.

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.

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LOS DATOS EN LAS SECCIONES SÍSMICAS 2D

La calidad de los datos asociados a cada una de las líneas sísmicas tiene influencia en la calidad del reprocesamiento sísmico. En algunas de las líneas, no se logró mejorar la imagen debido a la calidad de los datos sísmicos 2D. Durante el proceso de QC, en las secciones donde se presentaron problemas de calidad de imagen, se realizó la revisión de los registros sísmicos para constatar si la calidad de estos repercutió en el reprocesamiento. En la Figura 21 se muestra un ejemplo de la revisión de los registros sísmicos en el área B para justificar la mala calidad de la imagen sísmica obtenida después de la migración post-apilamiento con post-procesos.

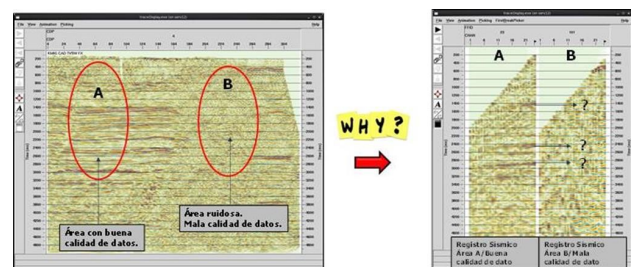


Figura 21. Influencia de la calidad de los datos en las secciones sísmicas.

CONCLUSIONES

Las técnicas empleadas, tanto en la fase de preparación de los archivos de soporte como 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 reprocesamiento 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 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.

En 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, dando especial atención a la apertura de migración y al porcentaje de velocidades a emplear. Módulos adicionales, como *CDP Trim Statics* y *Residual Velocity Análisis*, aumentan la calidad de los *CDP gathers*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a CEPESA E&P España y CEPESA PERÚ por el apoyo brindado para publicar este

trabajo. Especial agradecimiento al grupo de profesionales de CEPESA y ABSOLUTE IMAGING por el trabajo realizado durante el proyecto de reprocesamiento sísmico de datos antiguos 2D en la Cuenca de Ucayali.

REFERENCIAS

ABSOLUTE IMAGING (2018). Seismic Reprocessing Report and Supports. Calgary, Alberta, Canada.

PERUPETRO, (2017). Documentación relacionada con las campañas sísmicas en el área de estudio.

YILMAZ, OZ. (2007). A unified 2D land seismic data analysis workflow. First Break, Volume 25, 43-49.