

DEMARCACIÓN DE UNA ZONA DE NO-PERFORACIÓN A TRAVÉS DEL REPROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN SÍSMICA RELACIONADA AL EMPLAZAMIENTO DE CUERPOS INTRUSIVOS Y EL FALLAMIENTO ASOCIADO, EN LA CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE, ARGENTINA

Eduardo Trinchero¹, Luis Vernengo¹, Raúl Czeplowodzki¹

1: Pan American Energy LLC. etrinchero@pan-energy.com, lvernengo@pan-energy.com,
rczeplowodzki@pan-energy.com

Palabras clave: Empaquetamiento, reprocesamiento sísmico, cuerpos intrusivos, zona de falla, área de no-perforación

ABSTRACT

Boundary of a non-drilling area through reprocessing and seismic interpretation, related to the location of intrusive bodies and associated faulting, in Golfo San Jorge Basin, Argentina

A lot of problems happened during the drilling of several wells in an area of the Golfo San Jorge Basin, Argentina related to packing, clamping tools, circulation lost and finally the abandon of the wells.

The same situation happened repeatedly times in different wells. Taking into account that situation occurs at similar drilling depths, the seismic data were the tool which proved to be the one to improve the knowledge of the area. Also helped to understand and visualize the reasons that caused these problems. After careful observation of the data, it was proposed a different reprocessing seismic workflow, focused particularly to enhance the results.

Through this designed data reprocessing, it was possible to obtain an image of the igneous body present in the geologic column in the studied area, with more definition and with better geometric details than originally.

From this seismic image, a new and better reinterpretation of the fault system was done, which was the most significant feature through the well A, located in the area that matches the packing problems. In this way it was possible to project to the surface a non-drilling area geometrically defined among the fault plane and the basalt real thickness, and has been demarcated as a recommended non-drilling area.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Golfo San Jorge, en la Patagonia Central, es una cuenca intracratónica, predominantemente extensional, de orientación general Oeste-Este. La roca madre más importante de la Cuenca es la Formación Pozo D-129, del Barremiano - Aptiano, de origen mayormente lacustre. Por encima de esa formación, se depositó un grupo de unidades lacustres somero-fluviales bajo las condiciones de *sag* tardío.

Esas unidades contienen los reservorios que tienen la mayor cantidad de hidrocarburos documentados. La fase principal de la compresión Terciaria levantó la faja plegada de San Bernardo Norte-Sur, reactivando fallas normales previas.

La actividad volcánica a través de la historia de la Cuenca está expresada en el gran contenido de tobas en toda la columna sedimentaria, afectando esto la calidad de los reservorios. De los resultados de un relevamiento magnetométrico regional que cubrió la zona de estudio, puede observarse en particular la excelente correspondencia entre las imágenes de coherencia sísmica a 400-500 msec y las anomalías magnéticas mayores del mapa regional.

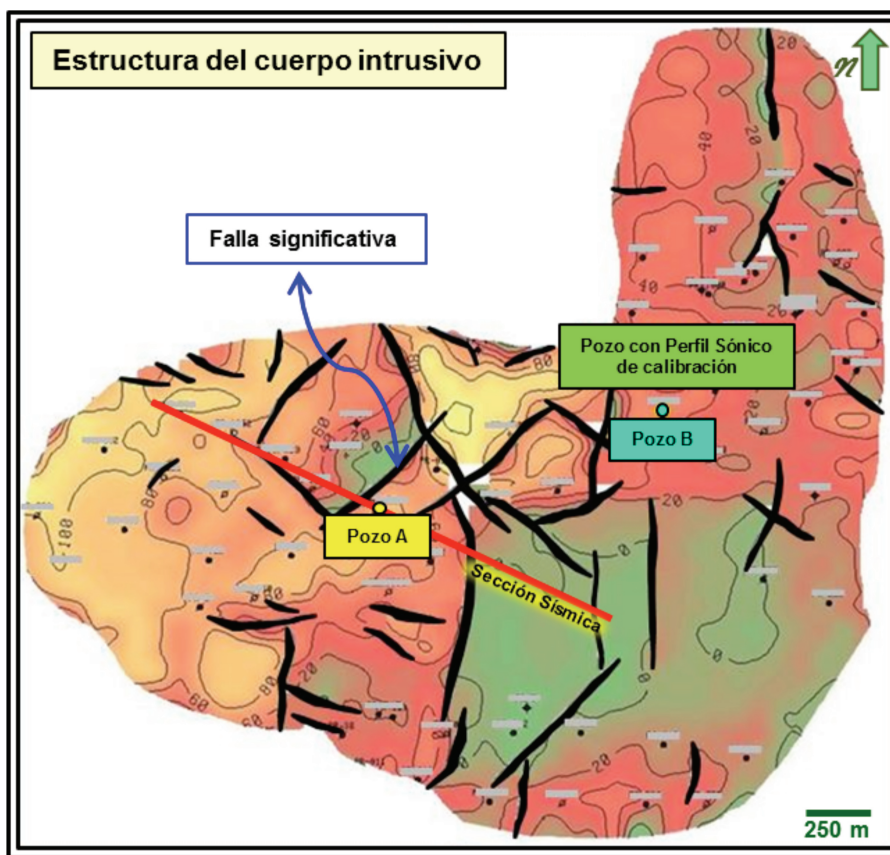


Figura 1. Estructura del cuerpo intrusivo identificado. Fallamiento asociado. Ubicación del pozo perforado y traza de la sección de la Figura 3.

Esto confirma que los sectores de baja coherencia del registro sísmico pueden considerarse como producto de la presencia de material volcánico. Se realizaron dataciones K/Ar sobre roca total de muestras de basalto aflorantes en el área de estudio, que indicó una edad de 23.4 ± 1.0 Ma, consistente con dataciones previas en rocas basálticas aflorantes en localidades cercanas, Rapallini (2004) (Figura 1).

En julio del año 2011 se realizó el abandono de la perforación del pozo del área luego de problemas de pérdida de circulación y posterior aprisionamiento de la herramienta a una profundidad de 574 mbbp.

En setiembre del año 2011 se realizó el segundo abandono de esta locación durante la perforación del pozo reemplazo luego de varios episodios de tendencia a empaquetarse y aprisionarse en las aproximadamente a la profundidad de 520 a 540 metros.

A mediados del año 2012 se realizó el reprocesamiento de los datos sísmicos de toda la zona de influencia del basalto somero para intentar obtener una mejora en la información sísmica y así tratar de interpretar y entender el comportamiento anómalo observado.

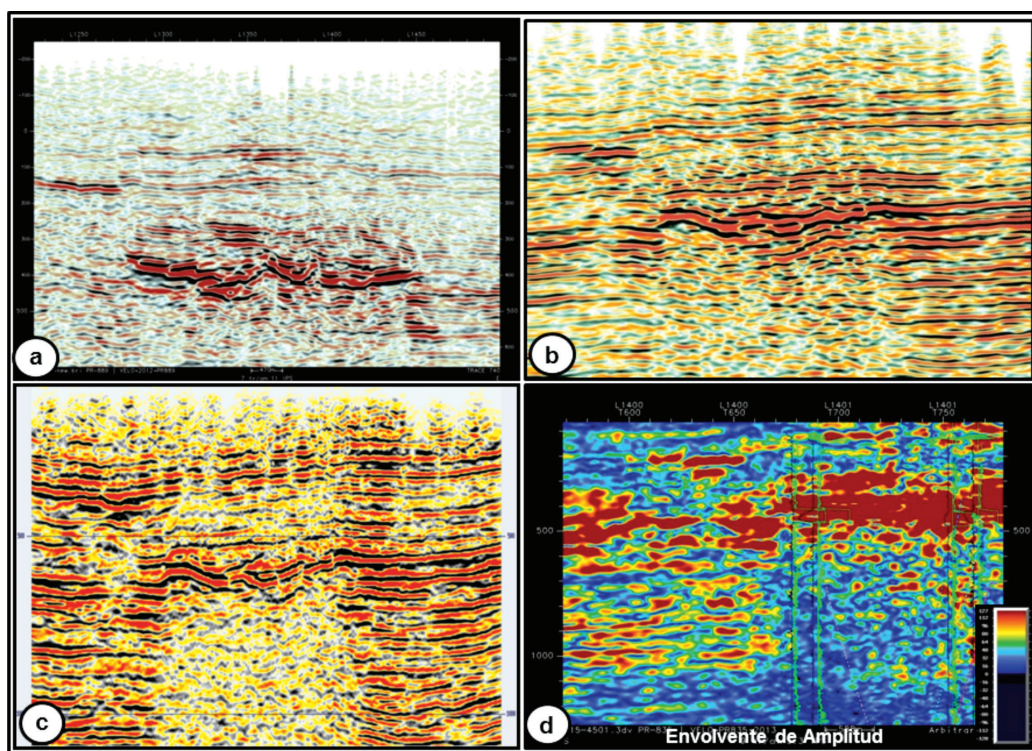


Figura 2. (a), (b) y (c) Secciones sísmicas en donde se observa la geometría del cuerpo intrusivo intersectado en distintas direcciones. En (d) Puede verse la rúbrica del cuerpo intrusivo con el atributo de envolvente de amplitud. En todos los casos el desarrollo del cuerpo en estudio se observa magnificado en el reprocesamiento convencional. También puede observarse en las figuras la “sombra” de información producida por el efecto de la presencia del basalto y la absorción de frecuencias que este produce en el dato sísmico.

El reprocesamiento sísmico tuvo como principal objetivo, a diferencia del proceso sísmico convencional, lograr una mejora en la relación señal ruido de los reflectores someros, los cuales no son reservorios de hidrocarburos en estas localidades (Figura 2).

A través de este reprocesamiento, fue posible obtener una imagen del cuerpo ígneo presente en el subsuelo del área de estudio, mucho más definida y detallada. A partir de esta imagen sísmica,

se realizó la reinterpretación de un sistema de fallas, de las cuales la más significativa atraviesa el pozo A, justamente ubicada en la zona que coincide con los problemas de empaquetamiento observado, Chand *et al.*, (2009), (Figura 3).

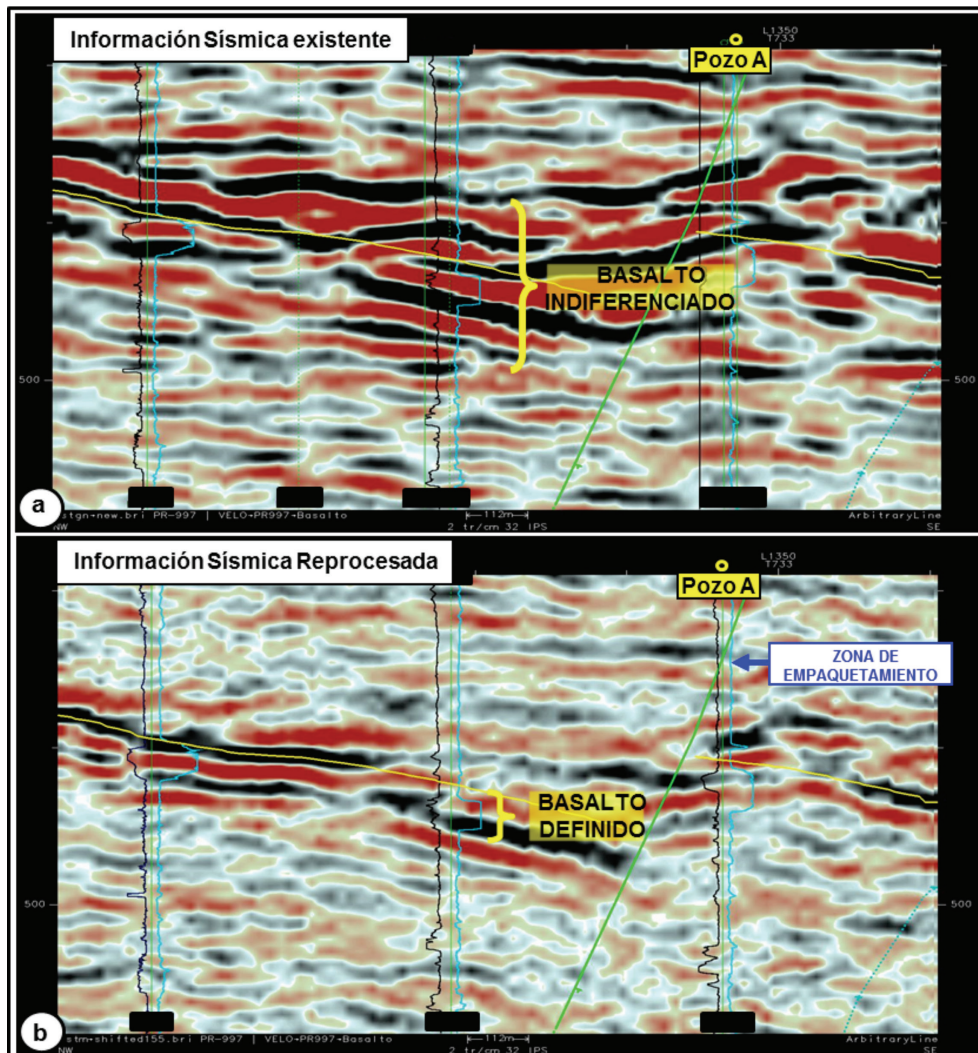


Figura 3. (a) Información sísmica existente y expresión del cuerpo intrusivo sobre el dato. (b) Sección sísmica reprocesada en la que se observa el ajuste y definición que se pudo obtener con el nuevo tratamiento del dato realizado.

La hipótesis más robusta del análisis realizado es que esta falla más significativa puede haber puesto en contacto formaciones de muy baja densidad y alta porosidad con los fluidos de inyección y así contribuir a los problemas durante la perforación.

En base a esta hipótesis es que se analizó en detalle la información sísmica para poder observar, reconocer e identificar la región delimitada por la zona de falla y la intersección con el pozo

mencionado. De esta manera fue posible proyectar en superficie el área así determinada, que se ha demarcado como una zona recomendada para no perforar.

De esta manera el aporte del reprocesamiento sísmico y la interpretación de los resultados han tenido un impacto directo en la planificación de los futuros proyectos de perforación en esta zona, De Ping She *et al.*, (2007) y Al-Dossary *et al.*, (2007).

Problemas durante la Perforación

Durante la perforación de varios pozos en la zona de estudio, surgieron problemas de empaquetamiento, aprisionamiento de la herramienta, pérdidas de circulación y finalmente la pérdida del sondeo.

Al ocurrir varias veces esta situación en pozos distintos y teniendo en cuenta además, que esto ocurrió a una profundidad similar, entre las herramientas que se propusieron para mejorar el conocimiento de la zona fue la sísmica, a través de la cual se vería la posibilidad de comprender y visualizar las razones que ocasionaban estos problemas. Para ello y después de una observación detallada de los datos, se propuso realizar el reprocesamiento sísmico de manera ajustada y enfocado particularmente a esta circunstancia descrita.

En un ejemplo de lo ocurrido durante la perforación de uno de los pozos, en 233 mbbp, se tuvo una pérdida total de circulación y siguió sin retorno hasta los 262 mbbp. Continuó sin retorno perforando hasta los 403 mbbp. Se sacó la herramienta para acumular agua y nivel de lodo en pileta.

Se volvió a bajar la herramienta y se perforó hasta los 447 mbbp sin retorno. Se entubó a esta profundidad y se cementó. Luego continuó la perforación y en 520 mbbp se observó una tendencia al empaquetamiento. Por zaranda se observaron trozos de formación y de cemento. Se realizaron dos geles de cemento tratando de sellar las capas que admitían.

Después de varias maniobras, se avanzó hasta los 514 mbbp y luego hasta los 574 mbbp, en donde se observa un cambio de formación a Basalto (en realidad y en sentido estricto, se trata de un cuerpo intrusivo microcristalino y no de una colada basáltica). Se observa una tendencia a empaquetarse y a aprisionarse, por lo que se decide realizar el abandono del pozo, quedando en pesca un trépano, una tijera y nueve portamechas (conjunto de pesca a 357 mbbp) (Figura 4).

Estas situaciones descritas y otras similares en pozos de la zona, podrían haberse producido por la sobrepresión que ocasionó el colapso de las cañerías. Esta sobrepresión habría estado generada por la hidratación de las arcillas debido a la circulación de fluidos por las zonas de las fallas asociadas al cuerpo intrusivo. Las tobas que forman parte de la Formación Río Chico, se ven alteradas por el efecto de presiones y temperatura durante la intrusión, que hace que puedan reconocerse en las muestras analizadas, un gran porcentaje de esmectita, que al hidratarse generan una muy importante sobrepresión sobre las cañerías y herramientas durante la perforación.

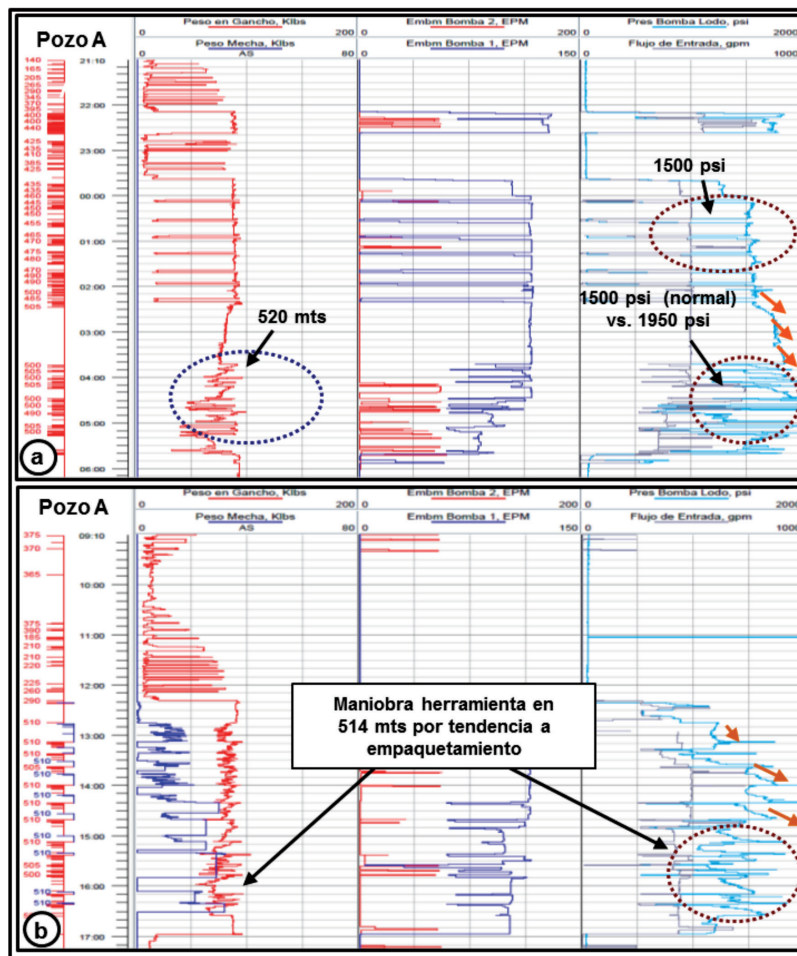


Figura 4. (a) y (b) efecto de la zona de basalto atravesada por el pozo perforado. Pueden observarse los problemas documentados en los logs durante la perforación.

Interpretación sísmica preliminar

El cuerpo Intrusivo tiene una superficie aproximada de 15 km², siendo su posición vertical promedio en tiempo sísmico doble de 543 msec. El mismo está atravesado por fallas de direcciones diversas y no regulares, posiblemente debidas al enfriamiento o acomodación durante su emplazamiento intruyendo la sección previa y conformando un enjambre de cierta complejidad.

Para la calibración de los pozos perforados con el dato sísmico, se utilizó un pozo con perfil sónico que atraviesa ese cuerpo. El mismo se presenta sísmicamente como una serie de reflectores de baja frecuencia y gran amplitud, con un importante incremento de amplitud como reflector superior, debido principalmente a su carácter de aumento de la impedancia acústica respecto de la roca que lo contiene (Figuras 1, 2 y 3).

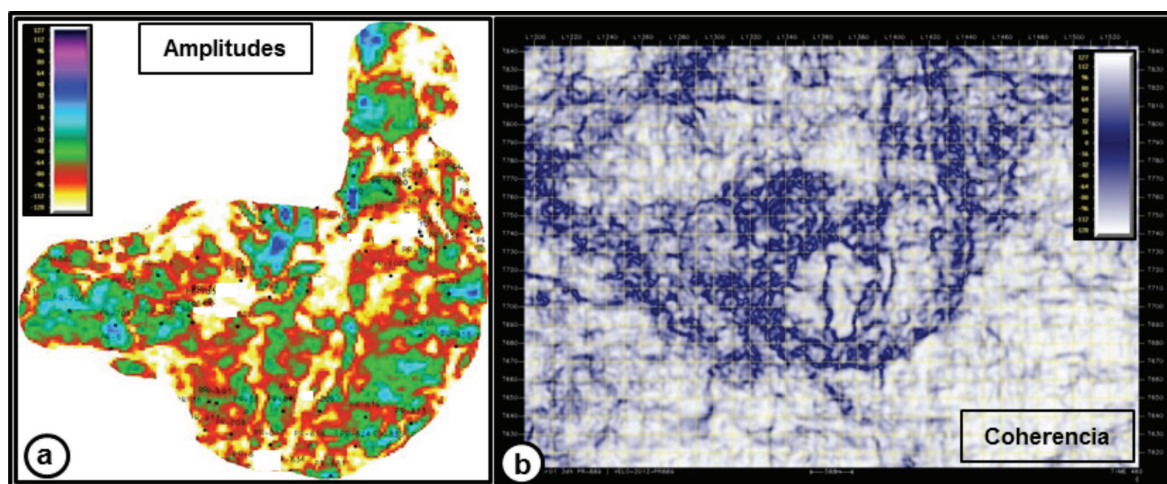


Figura 5. (a) Área cubierta por el intrusivo y amplitudes sísmicas asociadas al mismo. (b) Slice de Coherencia en la zona media del cuerpo intrusivo. Se observa la rúbrica y las distintas geometrías y alineamientos, que son parte en muchos casos del sistema de fallas asociado.

En particular se generaron mapas isócronos, se interpretaron fallas y se realizaron los mismos cálculos como si fuera un horizonte tradicional sedimentario.

Se observa claramente que debido a la profundidad del emplazamiento y al actuar de cierta forma de pantalla de la energía sísmica, por debajo de los cuerpos intrusivos hay una degradación de la calidad de la señal sísmica, llegando en algunos casos a desaparecer casi completamente la información coherente, Narhari *et al.*, (2009).

Por ser estos cuerpos de naturaleza intrusiva y posterior a la depositación de la secuencia sedimentaria del reservorio y sellos, por debajo del cuerpo intrusivo existirían reservorios productivos, actuando entonces el basalto solamente como pantalla, pero no influye en la presencia de los reservorios. En el caso que nos ocupa, el emplazamiento es en la Formación Río Chico, por encima del intervalo productivo.

Los basaltos en la Cuenca del Golfo San Jorge suelen presentarse generalmente como se ha descripto, espesos en tiempo y de gran amplitud. Una de las maneras de ponerlos en evidencia es calcular algún atributo relacionado con amplitudes, como por ejemplo el *Reflection Strenght* (Fuerza de la Reflexión o Envolvente de Amplitud) que magnifica la expresión de las amplitudes, Masoomzadeh *et al.*, (2006) y Hiltermann (2001) (Figura 2).

Reprocesamiento sísmico somero

Para enriquecer y colocar en contexto el reprocesamiento sísmico como una manera de mejorar la capacidad de encontrar zonas donde no se produjeran las pérdidas de los pozos, se instruyó a los técnicos del centro de procesamiento con los datos previos tanto geofísicos como geológicos.

El objetivo principal del reproceso, fue estudiar cuales eran las posibilidades de predecir, utilizando una sísmica convencional, los desmoronamientos que se producían al tratar de reemplazar un pozo productivo en un área con una intrusión de basalto (como ya se ha mencionado, en sentido estricto se trata de un cuerpo intrusivo microcristalino) cercano a la superficie, Blackman y Tukey (1958), (Figuras 6, 7 y 8).

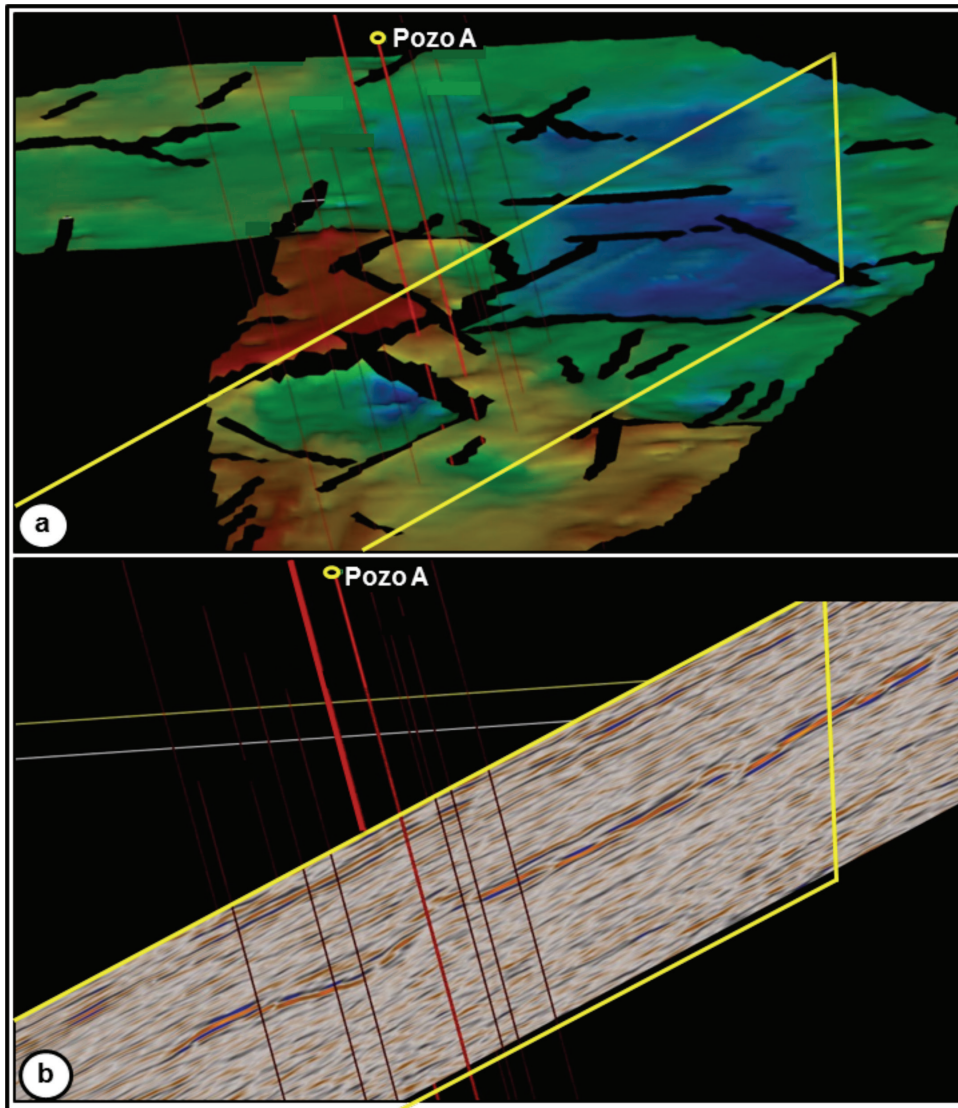


Figura 6. (a) Visualización tridimensional del cuerpo intrusivo y ubicación de la sección sísmica que pasa por el pozo A. (b) Sección sísmica por el pozo A.

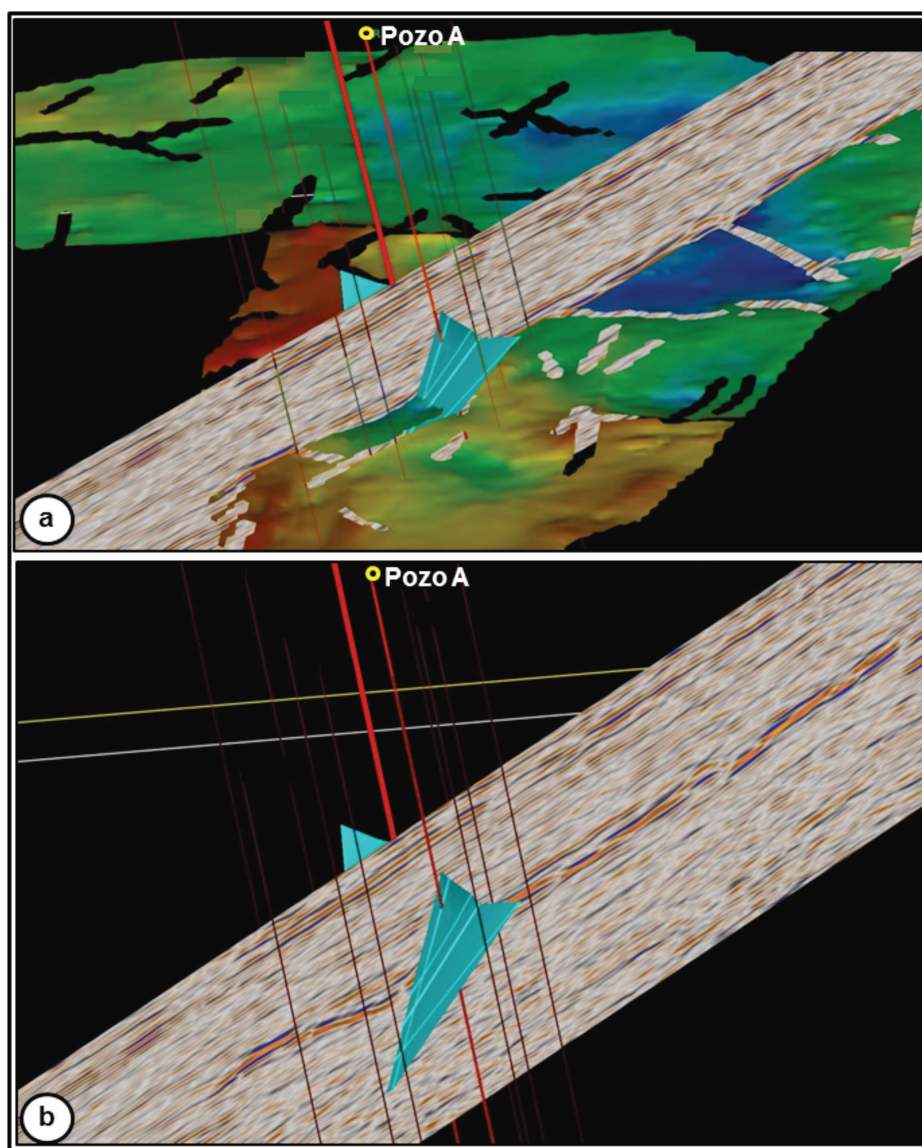


Figura 7. (a) Vista tridimensional del cuerpo intrusivo con sección sísmica, polígonos de fallas interpretadas y plano de falla que intersecta al pozo A. (b) Sección sísmica y plano de falla que se ha interpretado en la zona del pozo mencionado.

Se intentó detectar anomalías en los primeros arribos de los registros de campo, a través de alineamientos diferenciales y expresiones de amplitud marcadas, así como en las velocidades de refracción. No se observó ninguna expresión de anomalías de tiempo sísmico ni de amplitudes, por lo que se procedió a calcular las estáticas de forma muy detallada, pero con la técnica tradicional (Figura 9).

La secuencia de procesamiento fue la habitual para estas problemáticas teniendo en cuenta que los datos eran antiguos pero los programas de proceso se fueron mejorando en calidad,

velocidad y precisión, lo que permitió obtener resultados mucho más precisos y confiables. Ya desde el principio del tratamiento de los datos se observó que se iba mejorar la calidad intrínseca del resultado final, cualquiera sea la caracterización resultante de los cuerpos basálticos, Planke *et al.*, (1999) y Virgilio *et al.*, (2009).

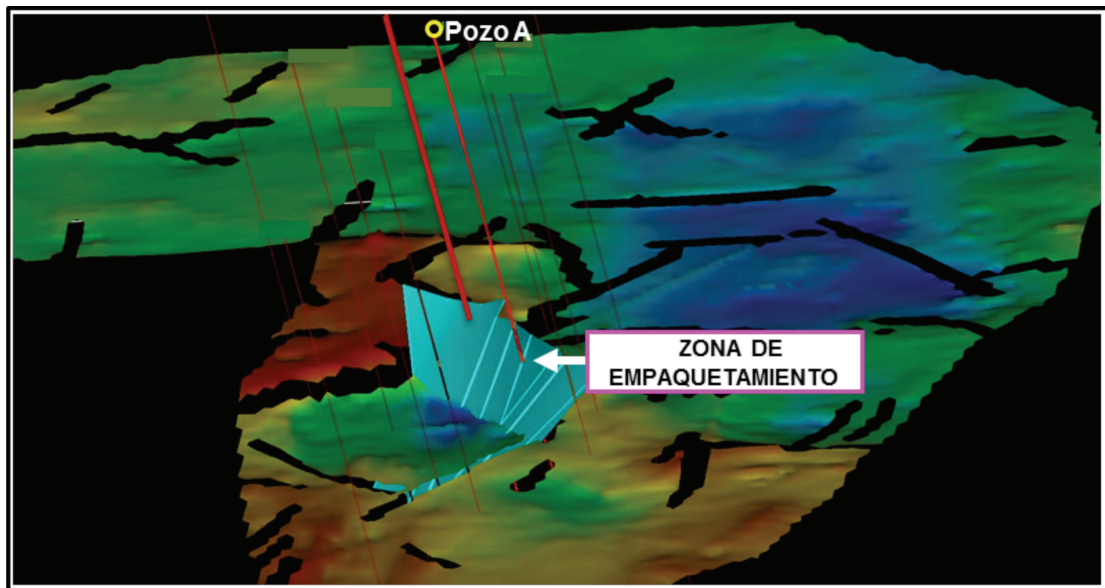


Figura 8. Vista del cuerpo intrusivo, polígonos de falla plano de falla principal y referencia a la zona de empaquetamiento en el pozo A.

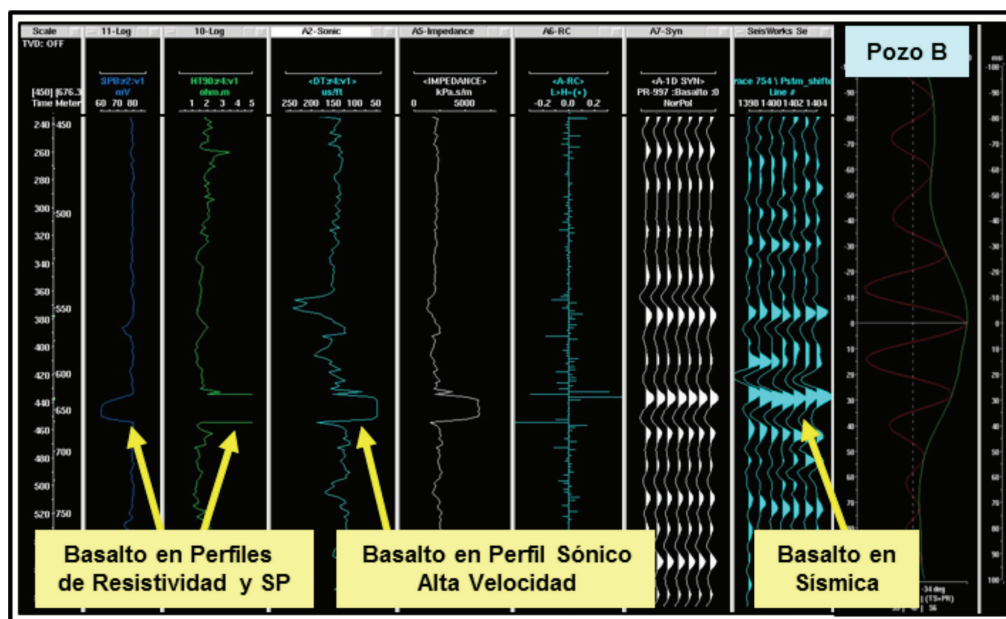


Figura 9. (a) Rúbrica del basalto identificado en los perfiles de Resistividad, SP, Sónico y en la Información sísmica real y sintética, en el pozo B, ubicado al noreste del pozo A.

Posteriormente al picado usual de las velocidades en una grilla regular, con una densidad de un *set* por cada 0.5 km², se utilizó la tecnología de rellenado de velocidades automáticas en los *gathers* migrados *PSTM* (*Prestack Time Migration*), para todos los *bines* y todas las muestras, obteniendo un atributo de velocidades *RMS* instantáneo o de alta densidad (Figura 10).

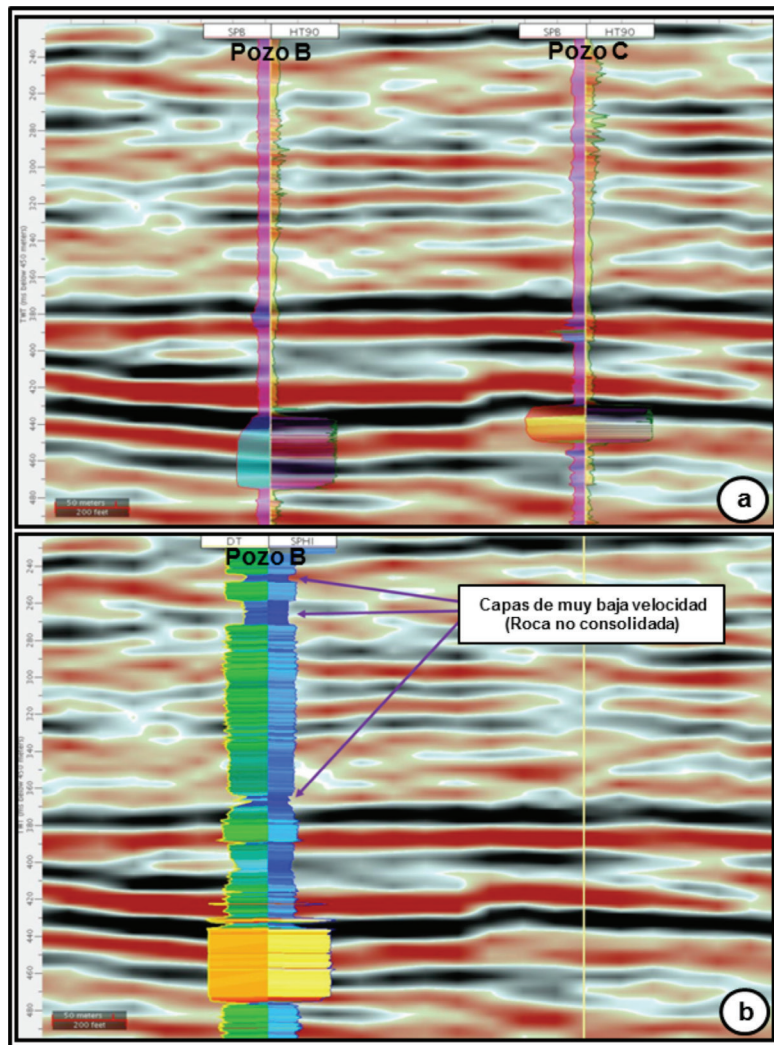


Figura 10. (a) y (b) Secciones sísmicas con información de perfiles de los pozos B y C. Puede verse la zona del cuerpo intrusivo y las zonas de rocas no consolidadas próximas al mismo.

Se corrieron sumas de ángulos, teniendo en cuenta que se trataba de un objetivo somero y con poco cubrimiento para los *offset* cercanos. También se corrieron atributos de AVO (Amplitud Versus *Offset*), *intercept* y gradiente, Yilmaz (2000) y Beher (2006). El atributo de velocidades de alta resolución mostró una óptima correlación con una anomalía de baja velocidad, con la intrusión de basalto.

Interpretación y resultados

Al modelar de manera simple el basalto con un trazado de rayos vertical, o solamente al observarlo en un sismograma sintético, se concluye que por efectos de *tuning* sísmico y reverberación de múltiples, aparece de mayor espesor temporal que lo que en realidad ocupa en la columna sedimentaria.

Por lo tanto, un procesamiento adecuado, cuidando las velocidades con mayor precisión y trabajando sobre los *offsets* más cercanos, deberían dar mejores resultados, reflejando más fidedignamente la expresión del evento intrusivo presente en el subsuelo del área (Figura 11).

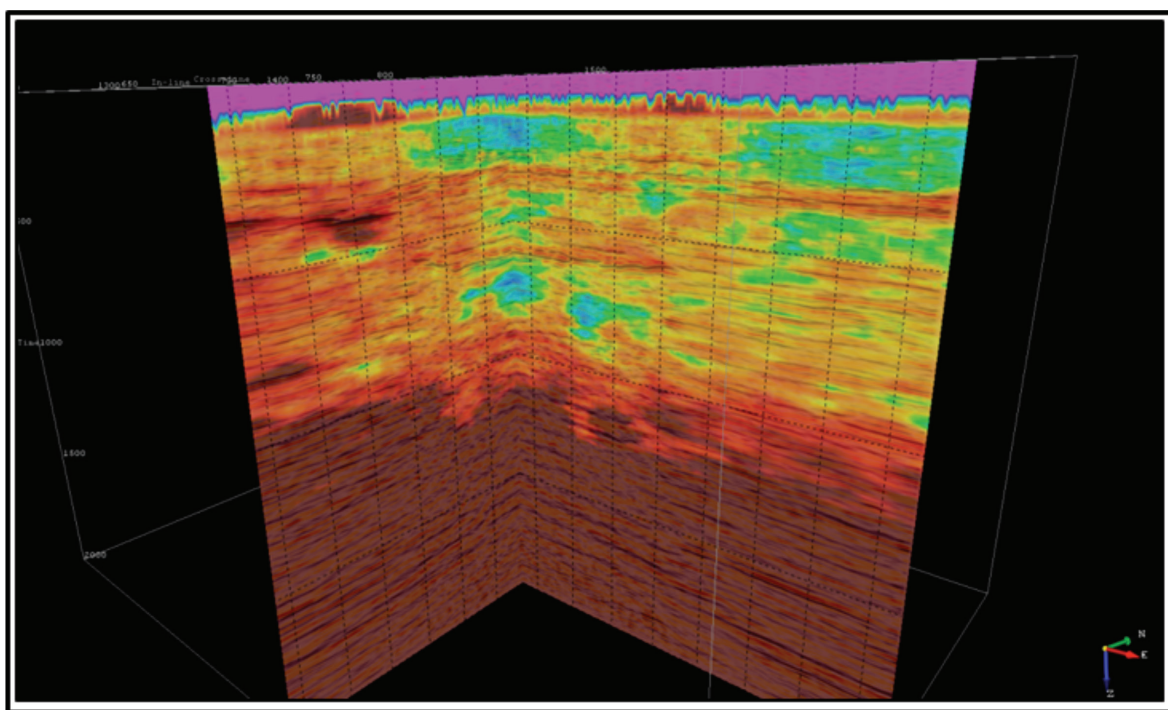


Figura 11. Visión tridimensional que muestra una vista del volumen de velocidades sísmicas en la zona del cuerpo intrusivo.

Al ser la velocidad intervállica del cuerpo muy alta, muy pocas trazas cercanas lo registran, prácticamente en un gran rango de velocidad provocará que sume, ya que su *Normal Moveout* (*NMO*) es muy pequeño.

Además, aunque la sísmica 2D estuvo registrada previamente en el área, ningún recaudo especial fue tomado ante semejante evento para el registro 3D. Durante el procesamiento los esfuerzos fueron dirigidos para intentar ver lo mejor posible por encima del cuerpo y también debajo en la columna sedimentaria productiva, aún con los efectos de la falta de carácter producida por la absorción de frecuencias por parte del cuerpo intrusivo (Figuras 12, 13, 14 y 15).

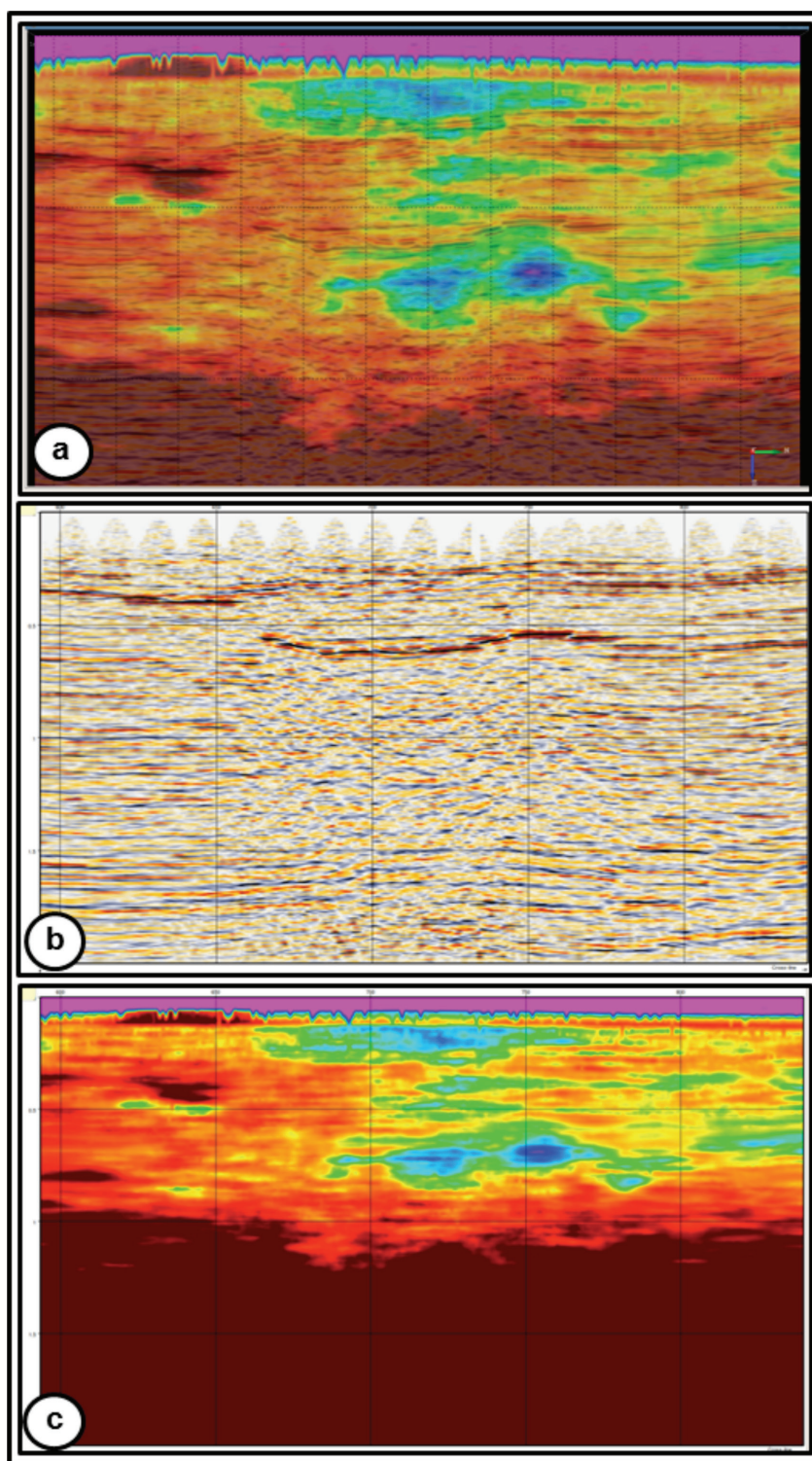


Figura 12. Sección sísmica *Inline* en la zona del cuerpo intrusivo. (a) Sección de velocidades + datos sísmico. (b) Sección sísmica. (c) Sección de velocidades sísmicas.

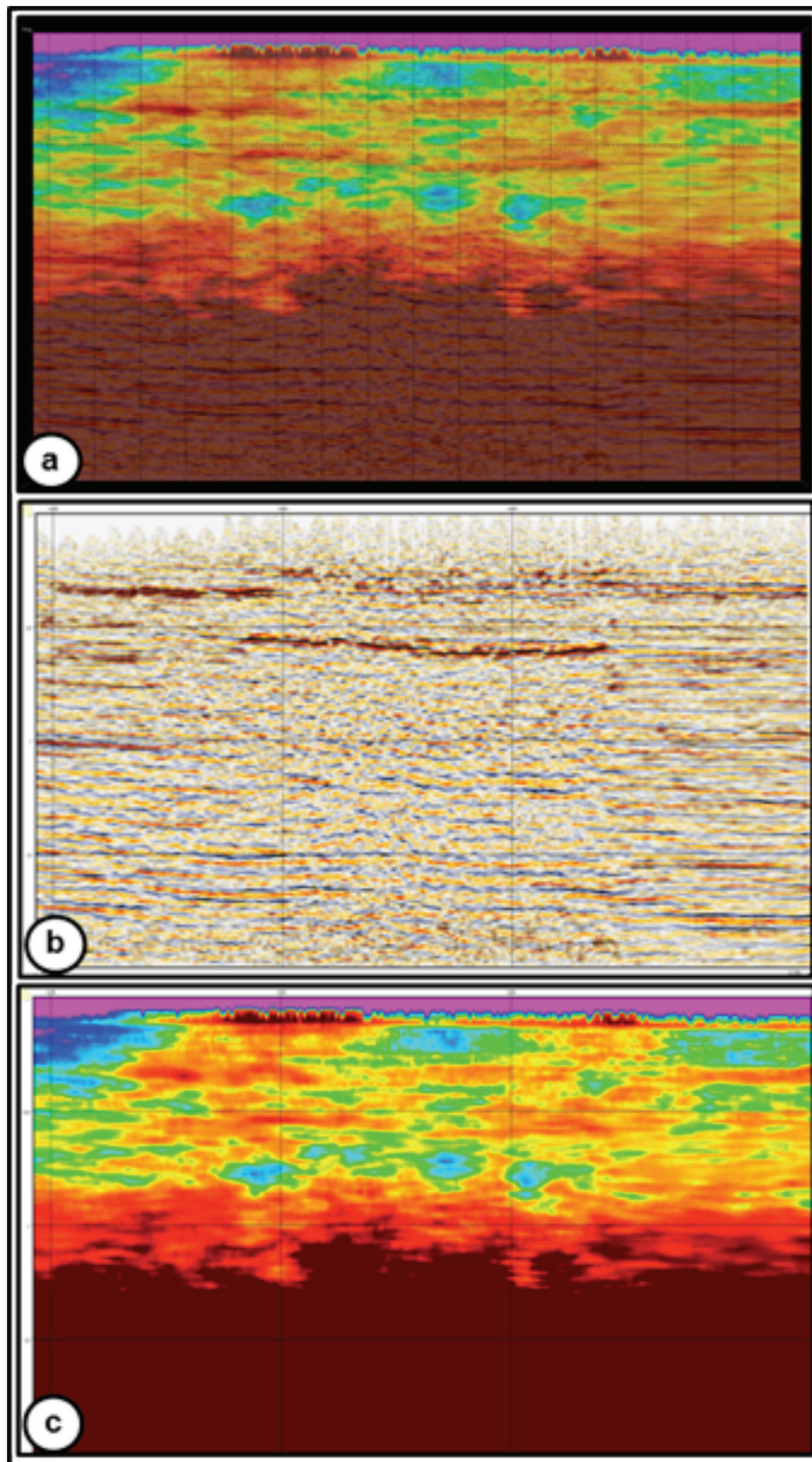


Figura 13. Sección sísmica *Crossline* en la zona del cuerpo intrusivo. (a) Sección de velocidades + datos sísmicos. (b) Sección sísmica. (c) Sección de velocidades sísmicas.

La determinación de los planos de falla fue desde el inicio de la interpretación muy ambigua. La baja frecuencia y la falta de carácter de los reflectores impedían una correcta identificación y localización de las mismas, así como también su seguimiento y desarrollo geométrico (Figuras 16, 17 y 18).

Con el nuevo cubo de datos procesados, se mejoró la calidad de la información a interpretar, mejorando el contenido de frecuencias de toda la sección. Como se observa por ejemplo, en la Figura 3, se pudieron reinterpretar tanto las fallas como el tope del cuerpo, así como la base y el resto de las fracturas/fallas asociadas, Boutte *et al.*, (2007).

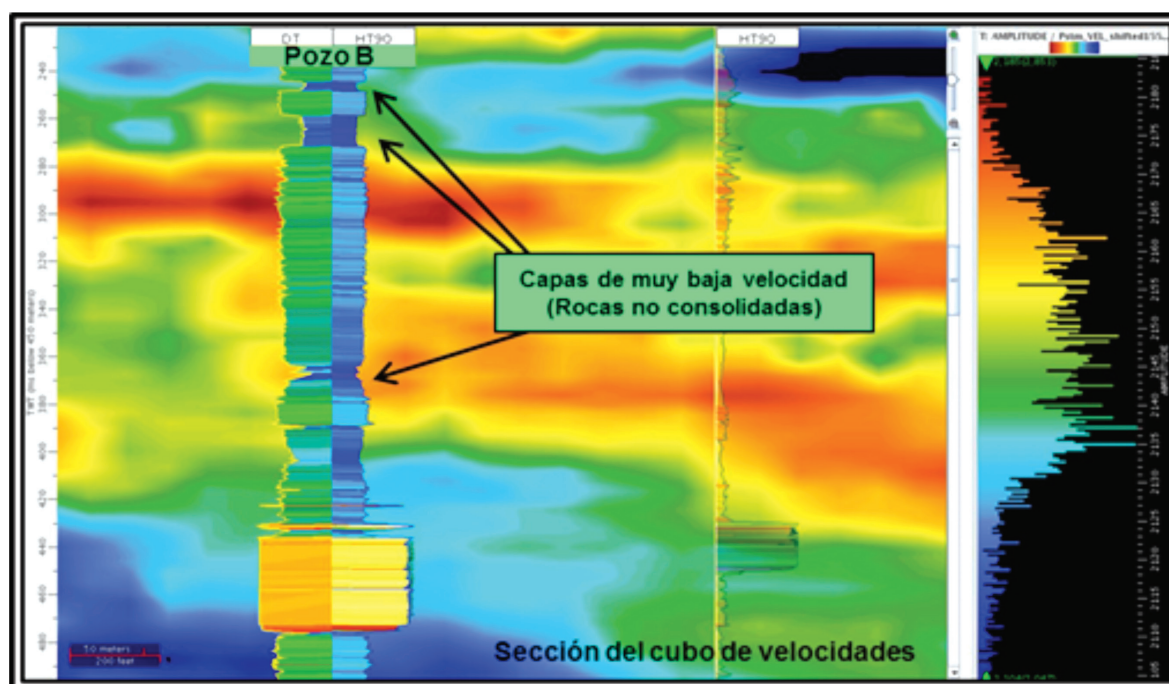


Figura 14. Sección de cubo de velocidades sísmicas que pasa por el pozo B, en la zona del cuerpo intrusivo. Perfiles del pozo e identificación de zonas de muy baja velocidad (rocas no consolidadas).

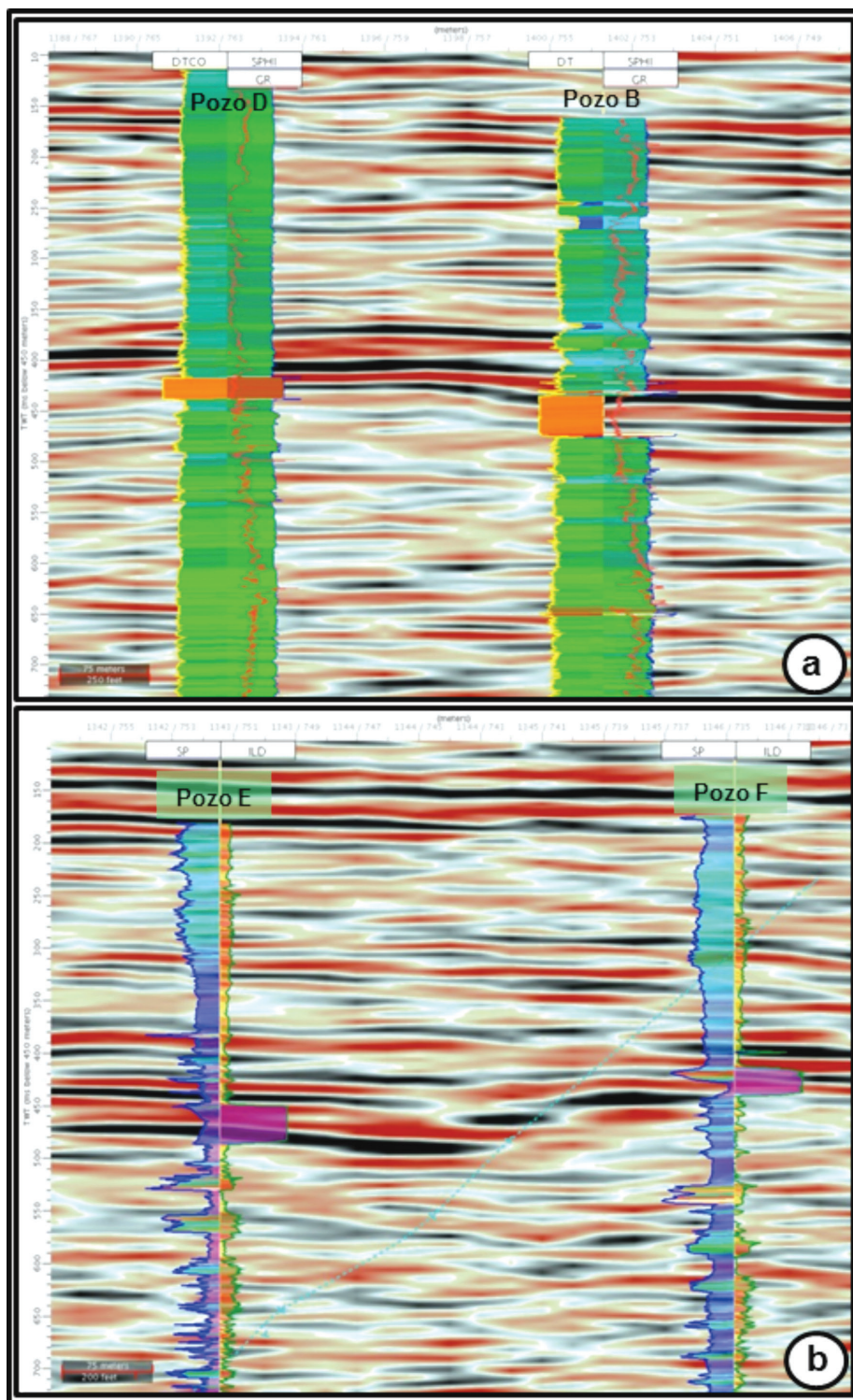


Figura 15. (a) y (b) Secciones sísmicas con pozos B, D, E y F. Puede verse la identificación de la zona del cuerpo intrusivo en los perfiles y sobre la información sísmica, en el entorno de los mismos.

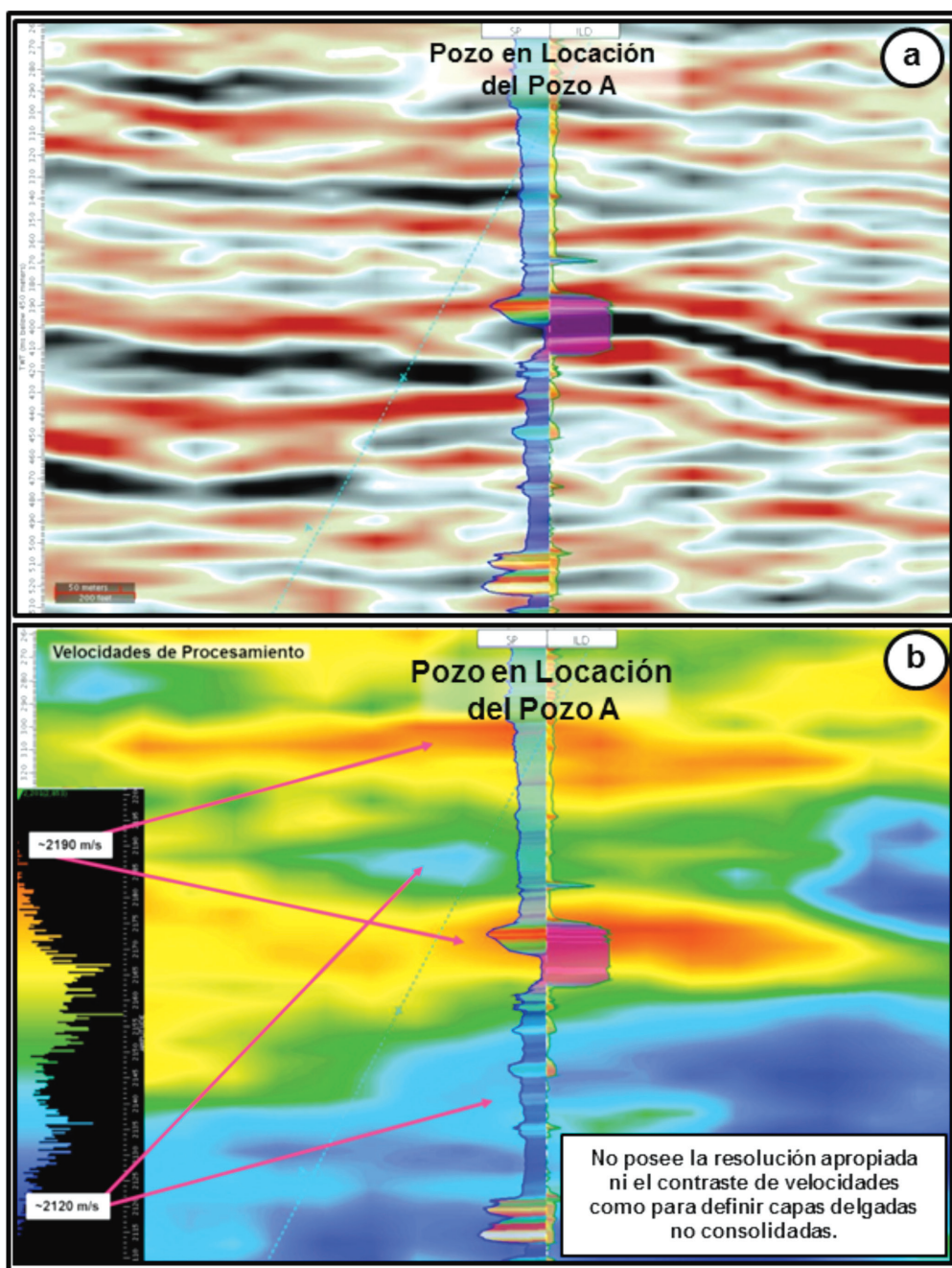


Figura 16. (a) Sección sísmica con perfiles por el pozo A. (b) Sección de velocidades de procesamiento. Notar que no posee la resolución sísmica ni se produce el contraste de velocidades requerido para definir las capas delgadas no consolidadas asociadas a la zona del cuerpo intrusivo.

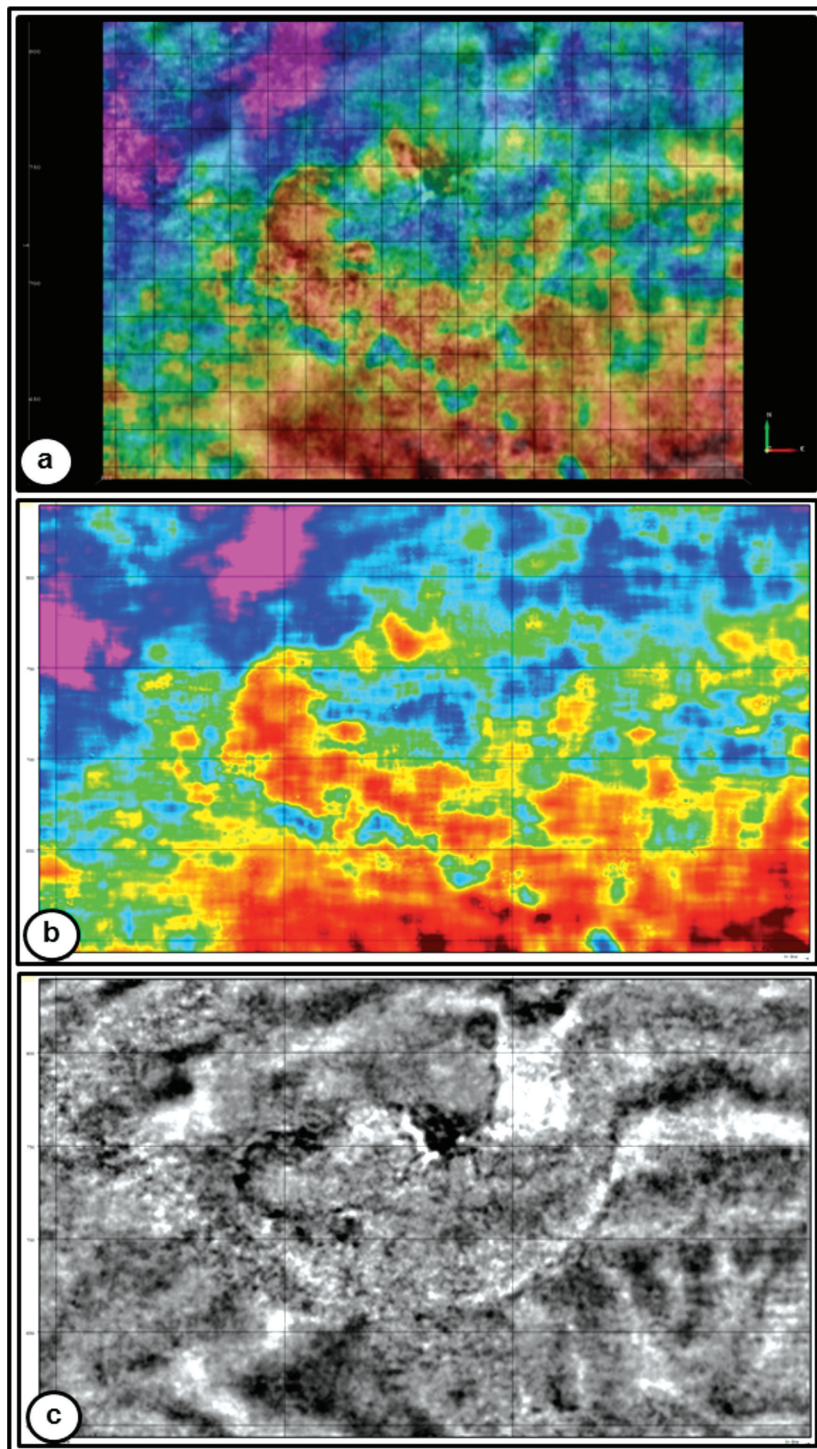


Figura 17. (a) Detalle de un *time slice* sísmico conteniendo el cuerpo intrusivo. (b) La misma sección que en (a) mostrando la distribución de velocidades de procesamiento. (c) Representación en otra paleta de colores de la misma sección.

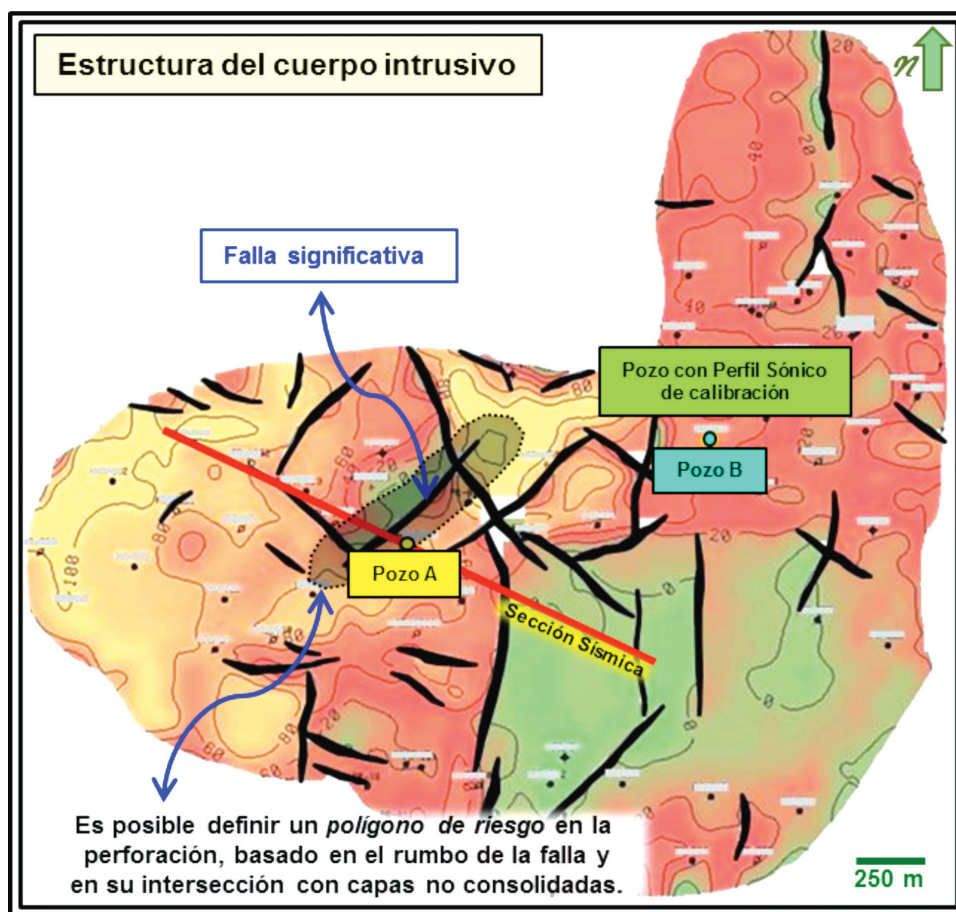


Figura 18. Delimitación de la zona recomendada de no perforación (polígono de riesgo en la perforación) por la presencia del cuerpo intrusivo somero y falla significativa.

CONCLUSIONES

Frente a una situación de presencia de un cuerpo que intruye la columna sedimentaria y que provocó la pérdida de varios pozos a una profundidad somera, entre otras herramientas se decidió utilizar la sísmica, previo reprocesamiento especializado, para mejorar la previsión de no encontrar otra vez zonas de riesgo.

Para ello se aplicaron técnicas modernas y dirigidas a mejorar la definición en la vertical y en frecuencia del cuerpo intrusivo y las capas suprayacentes a él.

Finalmente junto con el conocimiento geológico de *cutting* y perfiles y los datos de perforación, se optó por diseñar una poligonal que envolviera una zona de “no perforación”, ya que cualquier pozo a perforar dentro del polígono, encontraría una zona relacionada con una falla y con un cuerpo intruído que provocaría su pérdida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Pan American Energy LLC, por la autorización a publicar los ejemplos de este trabajo y a María Inés Biocca por su gentil colaboración.

REFERENCIAS CITADAS

- Al-Dossary, S. y K.J. Marfurt, 2007, Lineament preserving filtering, *Geophysics*: 72, N° 1, p.1-8.
- Behr, L., 2006, Sub-basalt imaging using converted waves: A numerical approach, SEG, New Orleans 2006 Annual Meeting, p. 2318-2322.
- Blackman, R. B. y J. W. Tukey, 1958, *The Measurement of Power Spectra*: Nueva York, Dover.
- Boutte, D., 2007, Through the continuous life cycle of reservoir, geophysics makes its marks, *The Leading Edge*, November 2007, p. 1376-379.
- Chand, R., D. Lohani, L. Chatterjee, C. Mehta, S. Singh y G. Yao, 2009, Long-offset depth processing for sub-basalt imaging in West of Bavla area, Cambay Basin, Gujarat, India, SEG, Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting, p. 3740-3744.
- De Ping She y Hai Long Zhu, 2007, Using low-frequency signals to improve imaging quality under basalt, SEG/San Antonio 2007 Annual Meeting, p. 2417-2421.
- Hilterman, F. J., 2001, *Seismic Amplitude Interpretation*, SEG, EAGE.
- Masoomzadeh, H. y P. Barton, 2006, Preservation of low frequencies in wide-angle data processing for sub-basalt imaging, SEG, New Orleans 2006 Annual Meeting, p. 2832-2836.
- Narhari, S. R., A. L. Al-Kandari, V. K. Kidambi, S. Al-Ashwak, B. Al-Qadeeri y C. Pattnaik, 2009, Understanding fractures through seismic data: North Kuwait case study: The 79th Annual International Meeting of the SEG, Expanded Abstracts, p. 547-551.
- Planke, S., E. Alvestad y O. Eldholm, 1999, Seismic characteristics of basaltic extrusive and intrusive rocks, *The Leading Edge*, March 1999, p. 342-348.
- Rapallini, A., 2004, Relevamiento Magnetométrico y datación geocronológica de diques basálticos del área de Cerro Dragón, Provincia del Chubut, Informe Final, INGEODAV, FCEyN.
- Virgilio, M., L. Masnaghetti, M. Clementi y M. D. Watts, 2009, Simultaneous Joint Inversion of MMT and Seismic Data for Sub-basalt Exploration on the Atlantic Margin, Norway, 71a. EAGE Conference & exhibition, Amsterdam, The Netherlands.
- Yilmaz, Özdogan, 2000, *Seismic Data Processing*, Society of Exploration Geophysicist, EEUU.