

EXPRESIÓN SÍSMICA DEL NIVEL FREÁTICO EN UN SECTOR DE LA CUENCA NEUQUINA. UN CASO ESPECIAL DE “DETECCIÓN DIRECTA DE GAS”

Daniel Starck¹, Alejandro Bande², Eduardo Micucci² y Daniel Lorenzo³

1: Independiente. daniel@starck.im

2: Tecpetrol S.A. alejandro.bande@tecpetrol.com, eduardo.micucci@tecpetrol.com

3: Independiente. dlorenzora@yahoo.com.ar

Palabras clave: Anomalías de amplitud, *flat spot*, superficie freática, Dorso de los Chihuidos

ABSTRACT

Seismic expression of the phreatic surface in the Neuquén Basin. A special case of “direct gas indicator”. The passage from liquid to gas within the poral space of rocks can produces significative changes in the acoustic impedance, which in turn generate a visible response in the seismic data. Sometimes, sharp amplitude changes can be observed, with or without a related *flat spot*, and are usually used as direct indicator of hydrocarbon occurrence.

The seismic interpretation (both 2-D and 3-D) in a sector within the eastern flank of the Chihuidos High (“Dorso de los Chihuidos”), in the Neuquén Basin, allows to define a particular fluid contact case, involving the phreatic surface. It is related to a strong change in the seismic amplitudes of a reflector package within the Rayoso and Neuquén groups. The change happens when the *dipping* reflectors cut across an almost constant TWT. Strong amplitude reflections are observed above that TWT, and weak ones below. In some cases, a sub horizontal reflector (*flat spot*) runs along the amplitude change, crossing the *dipping* reflectors.

We interpret that the high amplitudes above that surface are generated by strong impedance contrast between high impedance shale packages and high porosity, gas saturated (air from the vadose zone in this case), low impedance, sandstones. Crossing the phreatic surface, sandstones became water saturated, and the impedance contrast with the shales reduces, thus the reflection amplitudes diminish. Then, both the observed amplitude change and *flat spot* are generated by the phreatic surface.

The elevation estimated for this seismic event is around 200 and 300 m.a.s.l., values that coincide approximately with the known for the phreatic level in the zone, reinforcing the anomaly assignation. Several coinciding factors, in this basin sector, allowed the phreatic surface being “visible” to the conventional reflection seismic. Among these, clearly come up the outstanding air-filled layer (vadose zone) thickness, which combined with the *dipping* attitude of the bedding, allowed the impedance contrast remained visible in the seismic data trough the registration and processing treatment.

INTRODUCCIÓN

La respuesta observada en una sección sísmica de reflexión depende de la distribución de impedancias acústicas, esto es de las propiedades físicas del subsuelo. A su vez estas

propiedades dependen de los coeficientes elásticos y la densidad, los cuales ante un mismo tipo de roca y matriz se ven afectados por el contenido de fluidos presentes en las mismas (Wang, 2001). De allí que se ven en la literatura ejemplos de anomalías de amplitud en la respuesta sísmica que se asocian a cambios en los fluidos que ocupan la roca. En muchos casos estos resultan en ejemplos de indicadores directos de hidrocarburos, en especial gas (Brown, 2011), y su detección se ha constituido en una práctica común en la industria. En el presente trabajo se presenta un caso especial de este tipo de anomalías asociadas a un cambio de fluido en el espacio poral de las rocas. En este caso, la anomalía se asocia al contraste de impedancias acústicas existente en la zona saturada por agua debajo del nivel freático y al presente en la zona con el espacio poral lleno de aire que se le superpone (“zona vadosa”).

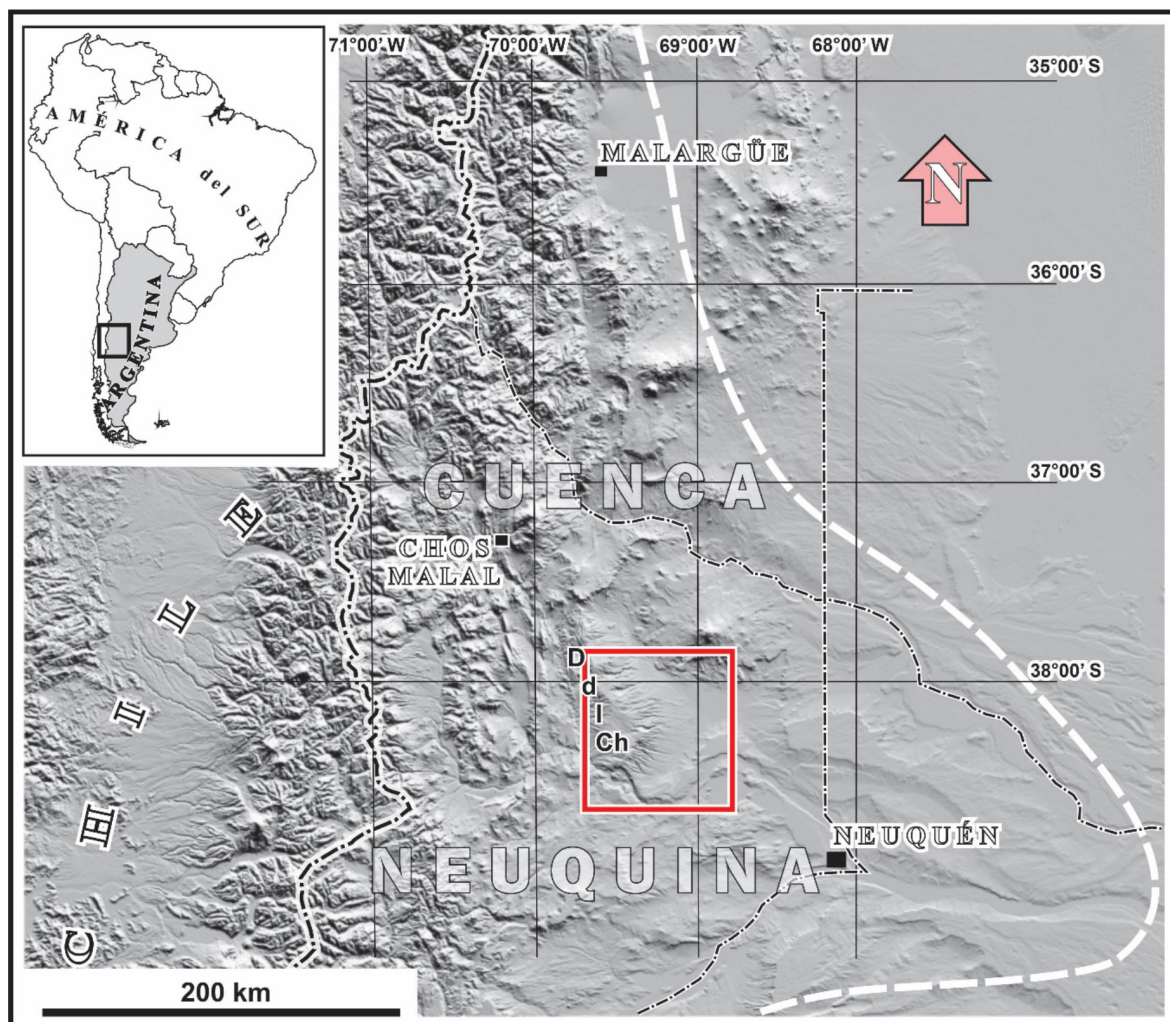


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona analizada. DdlC: Dorso de los Chihuidos

UBICACIÓN Y ENTORNO GEOLÓGICO

El área donde se presenta la anomalía se encuentra ubicada en el sector central de la Cuenca Neuquina (Figura 1), más precisamente en la mitad sur del flanco oriental del “Dorso de los Chihuidos” y su transición hacia el “Bajo de Añelo”. Estos dos rasgos se corresponden tanto a elementos estructurales como a geográficos, donde la topografía está fuertemente condicionada por la estructura.

Si bien el área de interés se localiza en un sector de la Cuenca Neuquina con una importante columna sedimentaria (más de 6 km, Micucci *et al.*, 2018), sólo se describirá aquí brevemente las unidades aflorantes y las presentes en los primeros centenares de metros desde la superficie, que son las que presentan la anomalía sísmica analizada. Esta parte superficial de la columna involucra a la Formación Rayoso y al Grupo Neuquén, correspondiendo a este último la casi totalidad de los afloramientos.

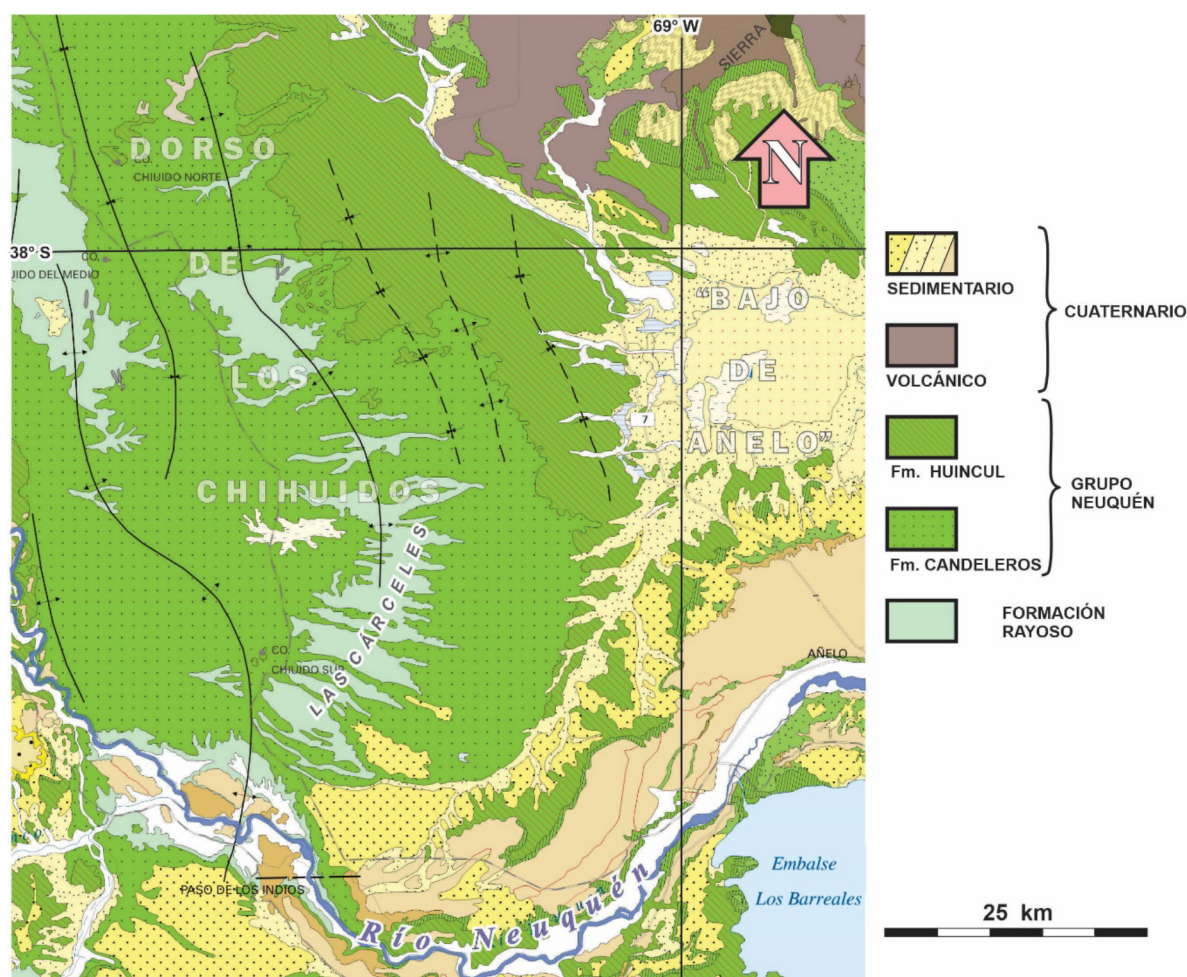


Figura 2. Mapa geológico de la zona estudiada (tomado del Mapa Geológico de la Provincia del Neuquén, Segemar, 2011)

La Formación Rayoso sólo aflora en las depresiones erosivas existentes en flanco este del Dorso de los Chihuidos, en el sector conocido como “Las Cárceles” (Fig. 2). De acuerdo a Alonso *et al.* (2016), está constituida en la zona por areniscas finas a medias, cuya selección mejora hacia la base; intercaladas con niveles de pelitas. Hacia el este aumenta la presencia de estos niveles arenosos y a su vez disminuye el espesor. En la zona del Dorso de los Chihuidos, el espesor de la Formación Rayoso alcanza unos 450 m.

En cuanto al Grupo Neuquén, sólo se preservan en la zona sus unidades basales (formaciones Candeleros y Huincul). Estas están integradas por una sucesión de areniscas con matriz arcillosa en cantidades variables, intercaladas con limolitas y arcilitas (Alonso *et al.*, 2016). La Formación Candeleros, con unos 150 m de espesor, presenta una composición más arenosa que la Formación Huincul, la que se caracteriza por una alternancia de paquetes samíticos con otros pelíticos, con un espesor de unos 300 m.

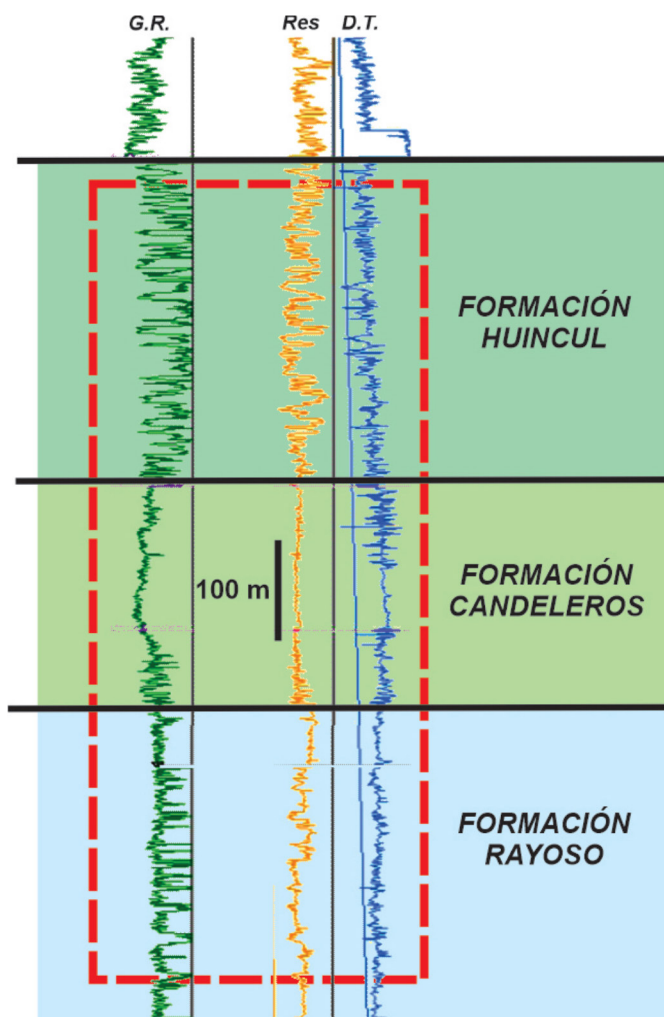


Figura 3. Perfiles eléctricos de un pozo de la zona. El recuadro indica la sección involucrada en la anomalía sísmica.

Resumiendo, la composición litológica de la columna descrita se caracteriza por la alternancia de secciones arenosas con otras pelíticas (Figura 3). Estas secciones tienen espesores variables según su ubicación en la columna estratigráfica. A su vez, el contraste entre las características entre las dos litologías principales de la columna va a controlar por un lado el comportamiento hidrogeológico y su correspondiente respuesta sísmica.

Respecto a la configuración estructural, la zona está caracterizada por la presencia del anticlinal regional del Dorso de los Chihuidos y el sinclinal o "Bajo" de Añelo. Estos dos elementos, de gran amplitud de onda representan unos de los elementos tectónicos más notables de la porción extraandina de la Cuenca Neuquina.

El Dorso de los Chihuidos es una gran estructura braquianticlinal, levemente asimétrica, de orientación NE-SW (Alonso *et al.*, 2011; Micucci *et al.*, 2018) (Figuras 1 y 2) y de algo más de 100 km de longitud por unos 50 km de ancho. Si bien presenta un importante relieve estructural (de alrededor de 1 km), sus flancos muestran pendientes suaves (alrededor de 2° el flanco oriental, un poco más el occidental). Se interpreta que es una estructura joven, que habría comenzado a levantarse durante el Neógeno con los últimos movimientos del ciclo Andino, (Zamora Valcarce *et al.*, 2009) y que actualmente se encontraría activa (Messenger *et al.*, 2013). Como ya se mencionó esta estructura tiene un fuerte control sobre el relieve, y la superficie topográfica del alto topográfico asociado, prácticamente sigue al techo de la Formación Candeleros, alcanzando los 1300 m.s.n.m. en su parte cuspidal. La resistencia a la erosión de las areniscas de esta formación ha sido el control geomorfológico más fuerte en la creación del relieve del alto. Por sobre esta superficie se preservan algunos remanentes de la Formación Huincul, entre los cuales se destacan los "chihuidos" (cerrillos aislados) existentes en la zona crestral del alto.

Por otro lado, también se presentan ventanas de erosión, asociadas a cárcavas ensanchadas (las "cárceles", Rodríguez, 1990), que dejan expuesta la subyacente Formación Rayoso.

El Bajo de Añelo corresponde a una amplia cubeta sinclinal desarrollada entre el Dorso de los Chihuidos y la plataforma que bordea la cuenca por el noroeste y sus estructuras asociadas (Alto de Entre Lomas). Se desarrolla en dirección NW-SE por más de 100 km. Al igual que en el caso de el Dorso de los Chihuidos, el rasgo topográfico asociado copia bastante bien la estructura del sinclinal, con la particularidad que el edificio volcánico del Auca Mahuida lo cierra por el norte. La parte más deprimida del Bajo se sitúa unos 220 m.s.n.m. y alberga cuerpos temporarios y someros de agua. Estos se alimentarían tanto por el drenaje superficial centrípeto como por el aporte de los sistemas acuíferos (Alonso *et al.*, 2018). La depresión topográfica de Añelo no sólo se encuentra más baja que los altos topográficos que lo rodean, sino que también se ubica en cotas inferiores a las de los ríos Colorado y Neuquén que corren al norte y al sur respectivamente.

LA ANOMALÍA SÍSMICA

Desde el descubrimiento de petróleo en Plaza Huincul en 1918, hasta el presente, la Cuenca Neuquina ha sido objeto de importantes inversiones exploratorias. Particularmente, desde las últimas décadas del siglo pasado, miles de kilómetros de sísmica de reflexión han sido registrados sobre ella. A esta cantidad de sísmica 2-D, se ha sumado últimamente una cantidad importante de sísmica 3-D.

En el caso de la zona estudiada, varios programas de registración 2-D y 3-D se han realizado por diferentes operadoras, y se tiene de esta manera una buena cobertura. Durante la interpretación de este material se pudo constatar la existencia de una marcada anomalía de amplitud en varias secciones sísmicas registradas sobre el flanco oriental del Dorso de los Chihuidos. Esta anomalía se manifiesta como un importante incremento en la amplitud, pendiente arriba, en un paquete de reflectores inclinados. Este fenómeno se localiza en niveles de las formaciones Rayoso, Candeleros y Huincul en el flanco oriental del Dorso de los Chihuidos, abarcando un espesor en tiempo de más 300 ms (Fig. 4). El pasaje de la zona de amplitudes suaves en la parte inferior a otras fuertes en la parte más alta del flanco es abrupto, presentándose como un límite

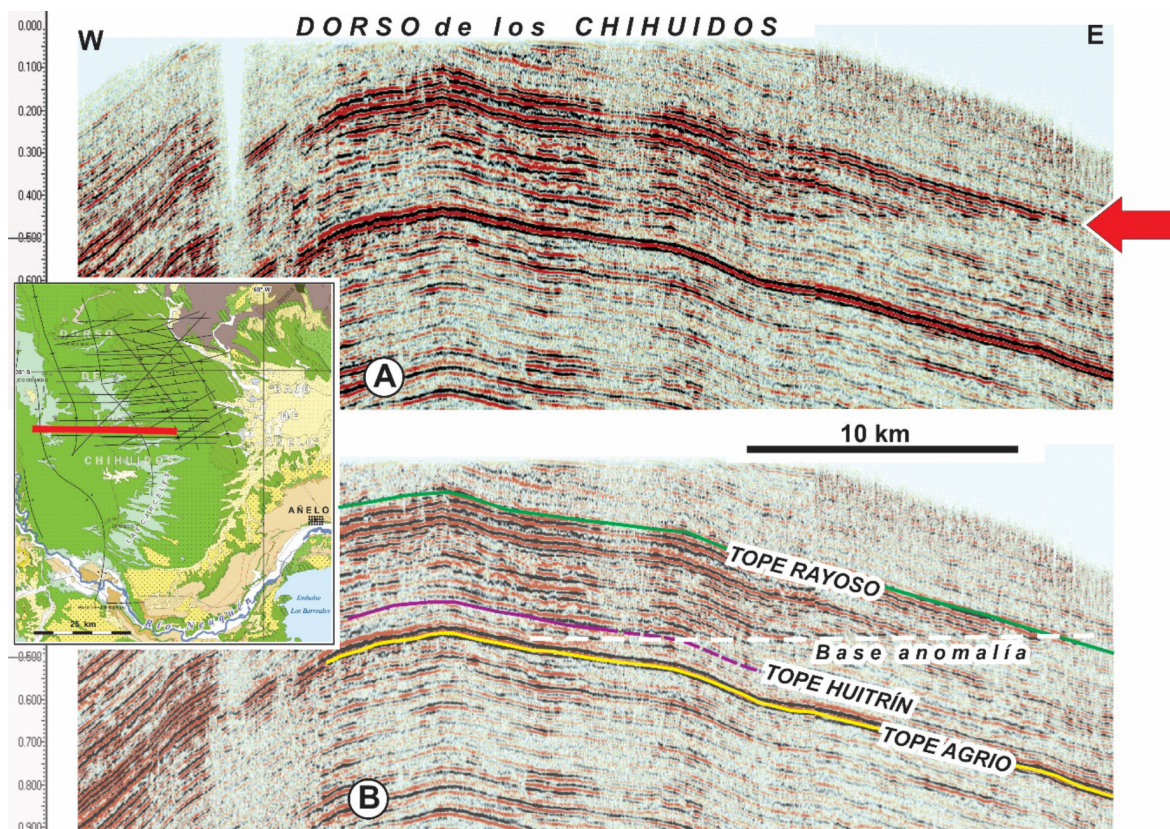


Figura 4. Sección sísmica 2-D en tiempo sin interpretar (A) e interpretada (B) mostrando la anomalía de amplitud en cuestión. Ubicación indicada en rojo en el mapa.

neto, “subhorizontal” (en tiempo). La angularidad existente entre los reflectores inclinados y este límite neto permite que la anomalía sea claramente apreciable. La inclinación de los reflectores es particularmente importante en la visualización de la anomalía, hecho que se puede

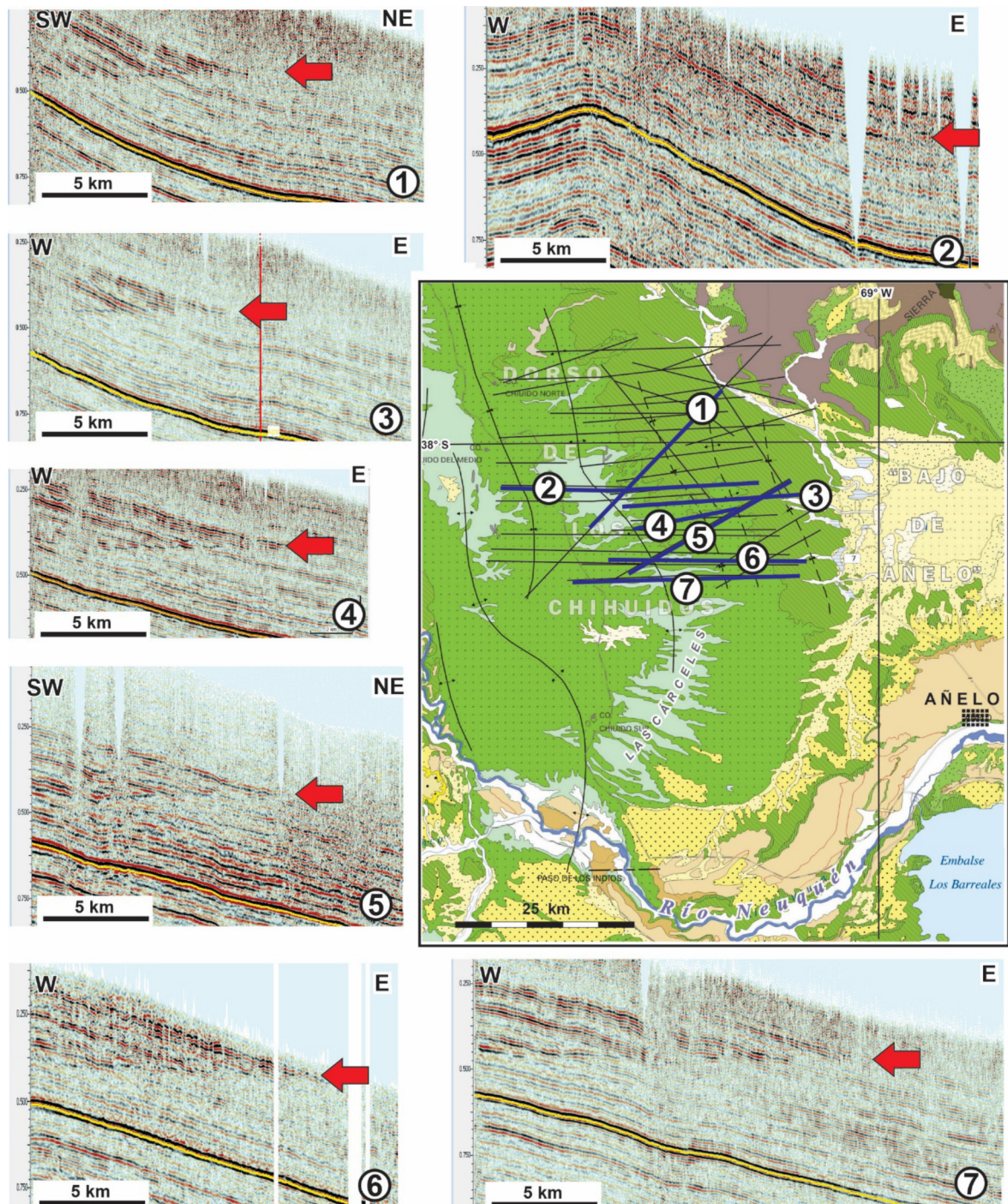


Figura 5. Aspecto de la anomalía de amplitud en distintas secciones registradas en la zona. La flecha señala la base de la anomalía. La sección 6 está extraída de un cubo 3-D. El marker amarillo corresponde a un horizonte cercano al tope de la Formación Agrio.

comprobar al comparar las secciones “*dip*” (E-W), con las “*strike*” (N-S), ya que en estas últimas no es posible identificarla. La anomalía también es apreciable en los cubos 3-D registrados en el flanco en cuestión.

La presencia de la anomalía en secciones pertenecientes a distintas registraciones y con distintos procesamientos (Fig. 5) permitió desechar la sospecha de que se pudiera tratar de un artefacto creado durante el procesamiento. Este cambio de amplitudes se ve, en algunas secciones, remarcado por la presencia de reflectores subhorizontales que lo acompañan, en un claro fenómeno de “*flat spot*” (Fig. 6).

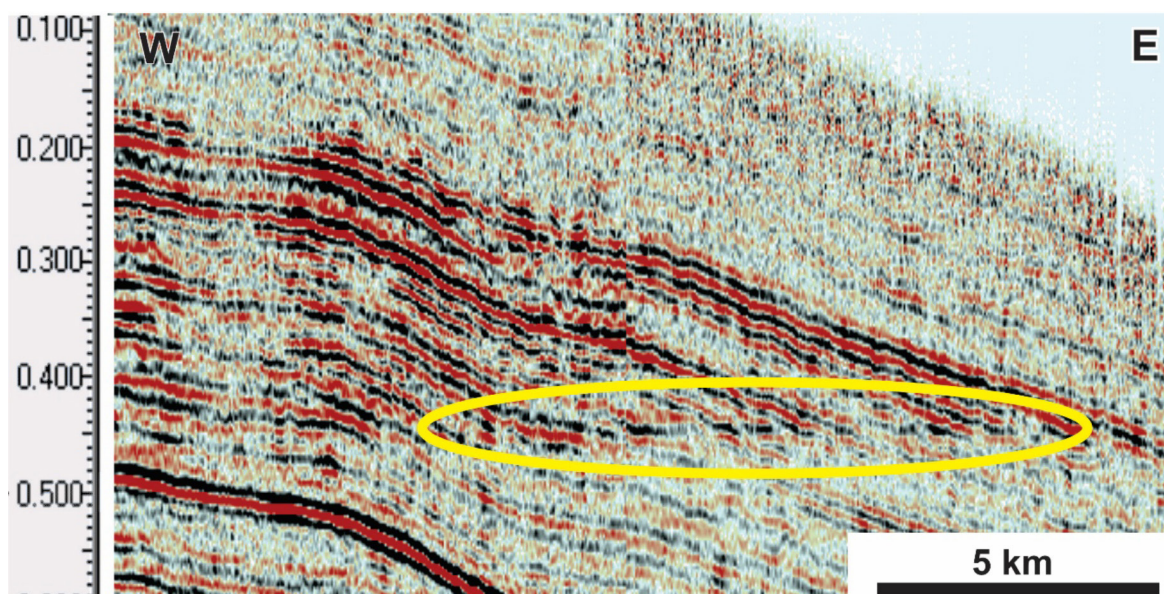


Figura 6. Detalle de la sección sísmica de la Figura 4 remarcando la presencia de un reflector subhorizontal (*flat spot*) (ubicación en el mapa de la Figura 4).

El mapeo de este límite entre amplitudes débiles y fuertes (Fig. 7) confirma la casi planaridad del mismo, y la presencia de una muy suave pendiente hacia el este, con un desnivel máximo de unos los 100 ms.

Es llamativa la preservación de la anomalía en cuestión en secciones con un procesamiento convencional, y en el que seguramente no se prestó particular atención a la parte alta de la registración por su nula importancia petrolera. Evidentemente el fenómeno físico que la origina es de tal magnitud que permitió su supervivencia. De esta manera, también se puede advertir la presencia de la anomalía incluso en distintas secciones sísmicas publicadas en trabajos referidos a la zona (Maretto y Pángaro, 2005; Zamora Valcarce *et al.* 2009, Cevallos *et al.*, 2014; entre otros)

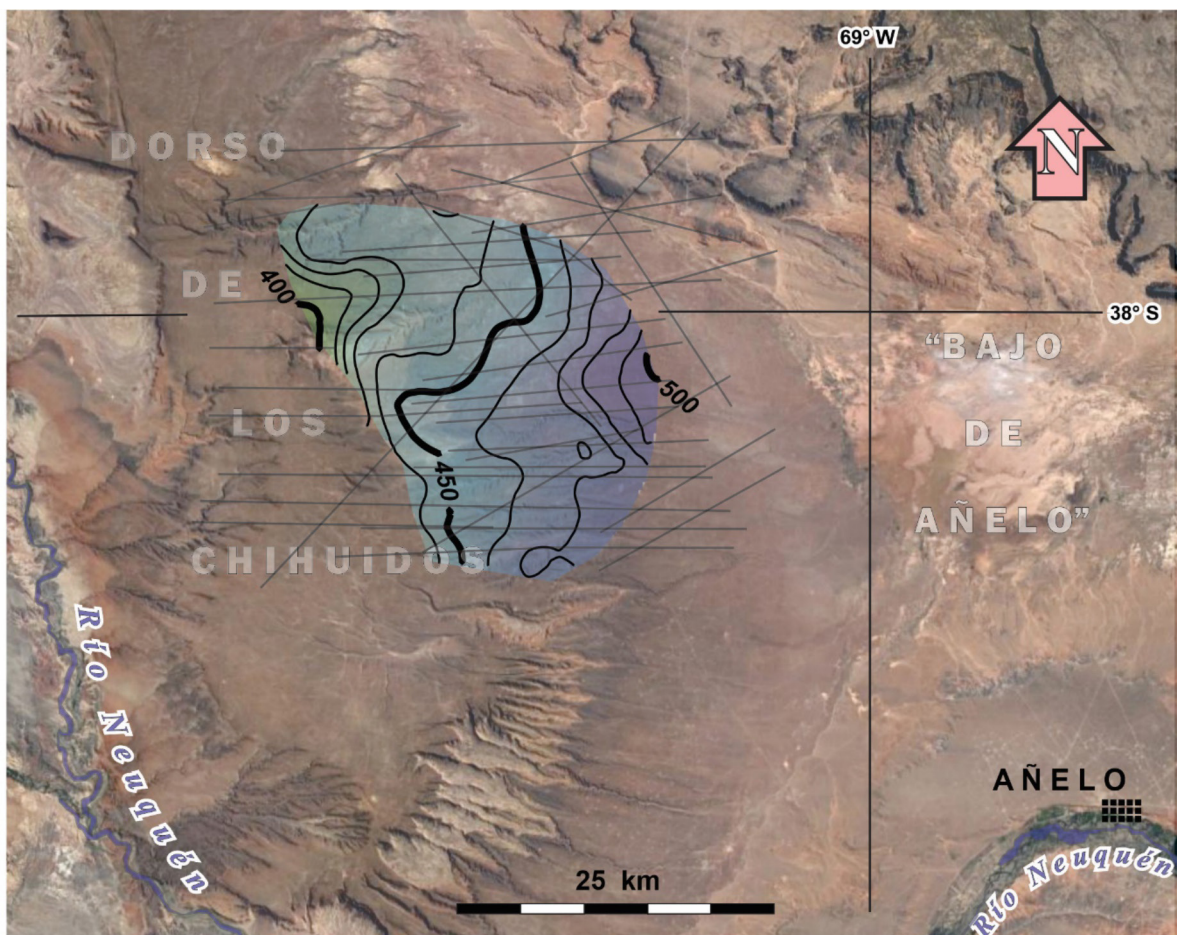


Figura 7. Mapa estructural en tiempo del base de la anomalía de amplitud. Valores en milisegundos

GÉNESIS DE LA ANOMALÍA

De acuerdo a lo descripto en las secciones previas, la anomalía se desarrolla en un paquete inclinado de capas porosas (areniscas) que alternan con otras pelíticas, impermeables. El cambio de amplitudes observado corta al paquete buzante, con una actitud subhorizontal. Si a esto se suma la presencia de un reflector, también subhorizontal, acompañando el cambio de amplitudes (*flat spot*), parece bastante claro que el fenómeno se vincularía a un contacto de fluidos dentro del espacio poral. La anomalía de amplitud se corresponde entonces a varios “*bright spots*” apilados cuyo límite pendiente abajo está a veces remarcado por un *flat spot*, y estaría mostrando la presencia de fluidos menos densos en el espacio poral de las capas por encima del límite basal, y un fluido más denso por debajo. No habría dudas en cuanto al fluido existente por debajo de la anomalía, ya que correspondería al estado “normal”, en el que las rocas porosas se encuentran saturadas por agua. El contenido del espacio poral por encima de la base de la anomalía tiene que ser entonces “gas”. Tal como se observa en las distintas secciones, la anomalía se desarrolla hacia arriba hasta

la superficie topográfica (o al menos hasta donde hay información sísmica preservada), por lo que estaría en contacto con la atmósfera. Estas observaciones permiten entender que la anomalía se relacionaría entonces a la presencia de aire dentro del espacio poral, y entonces estaría mostrando la “zona vadosa”, limitada por debajo por la superficie freática. En la Figura 8 está esquematizada la relación entre la geología y la hidrogeología y sus efectos en las propiedades físicas y en la respuesta sísmica.

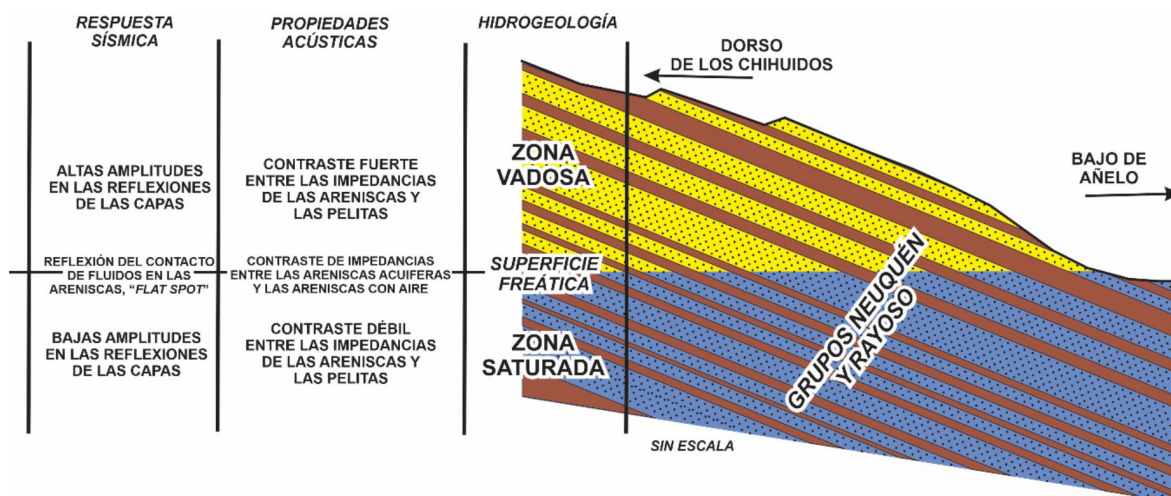


Figura 8. Sección esquemática mostrando la geología y la hidrogeología y sus efectos en las propiedades acústicas y la respuesta sísmica. La escala vertical está muy exagerada, téngase en cuenta que la inclinación de las capas es del orden de los 2°.

MODELADO DE LA ANOMALÍA

Con el objeto de hacer una comprobación independiente de la posibilidad real de que la zona vadosa genere una respuesta sísmica apreciable se realizó un modelado a partir de información de registros eléctricos de pozos. El modelo consiste de una alternancia de rocas porosas y permeables, con otras con baja permeabilidad que están saturadas con agua. Las rocas con mayor permeabilidad permiten el paso del agua a través de su matriz porosa hasta alcanzar el equilibrio hidrostático, que corresponde al nivel freático. Se tiene entonces que por encima del nivel de equilibrio del agua la secuencia de capas alterna capas porosas llenas de aire con capas impermeables llenas de agua, y por debajo de este nivel la secuencia contiene ambas capas saturadas con agua. Si bien en la zona se han perforado numerosos pozos, son pocos los que tiene un set de curvas “generoso” para las profundidades en cuestión. Se utilizó un pozo cercano (pero no en la zona donde se observa la anomalía) que tiene información de los primeros 600 m de profundidad, con las capas porosas saturadas con agua, y se le generó un sismograma sintético. Posteriormente, y a modo de ejercicio, se realizó la sustitución, usando en forma aproximada las fórmulas de Gassman (Wang, 2001), de agua por aire en las capas porosas de la mitad superior, afectando los perfiles sónicos y densidad.

Con estos datos se generó el correspondiente sismograma considerando el perfil editado en su mitad superior. Las amplitudes correspondientes a la parte donde se realizó la sustitución del fluido son en general de mayor amplitud que las correspondientes a las capas con agua (Fig. 9).

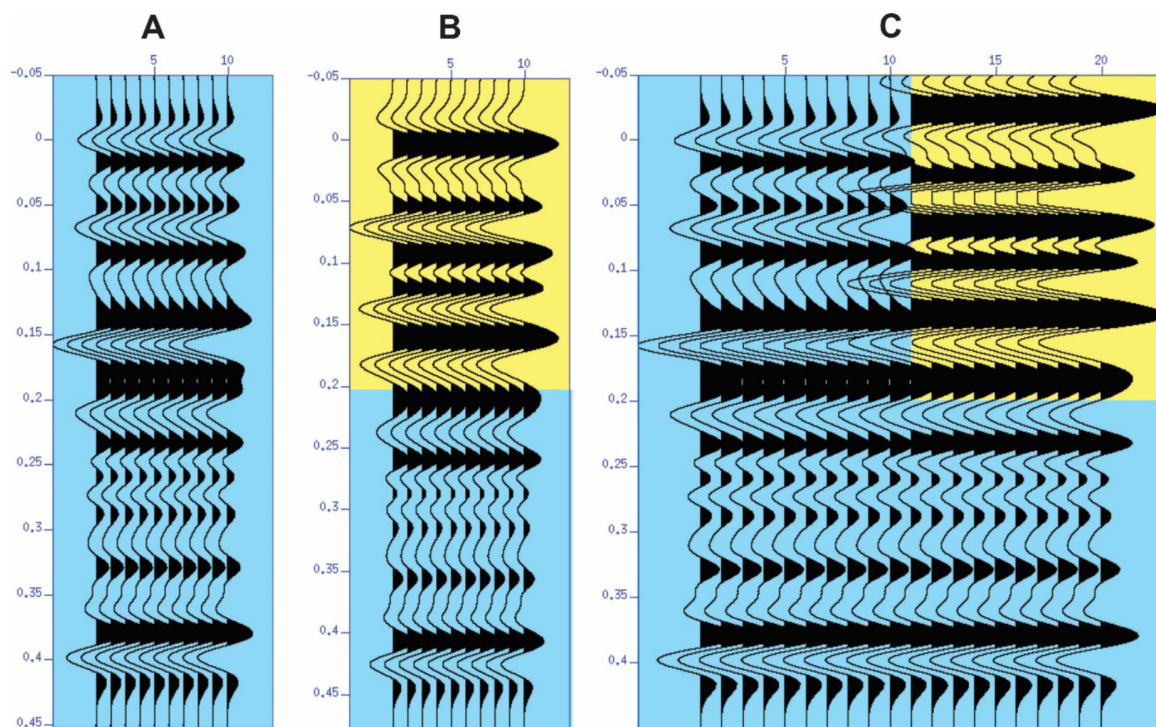


Figura 9. A: sismograma sintético correspondiente a un pozo próximo. B: sismograma sintético con las impedancias modificadas para considerar la presencia de aire en las rocas de carácter menos arcilloso, por encima de los 200 ms (ventana en amarillo). Por debajo de este tiempo se dejaron los perfiles sin hacer sustitución. Nótese que el sismograma correspondiente al perfil donde se hizo la sustitución de fluidos es ligeramente más largo por la disminución de velocidades asociadas a la sustitución. La Figura C muestra ambos perfiles, desplazando el perfil B como para que haya coincidencia en tiempos para el tiempo hasta donde se realizó la sustitución.

PROFUNDIDAD ESTIMADA PARA EL EVENTO SÍSMICO

Con el objeto de comparar el evento sísmico asignado a la interfase freática con lo conocido en la zona desde la hidrogeología, se trató de calcular la profundidad del mismo. Esta tarea se vio complicada debido a los pocos pozos disponibles con información en la parte superficial, y a la gran distorsión que suelen presentar las leyes de velocidad en su parte más alta. A modo de aproximación se puede estimar la profundidad de la base de la anomalía a partir de la sección sísmica de la Figura 10.

Como se puede observar en la figura, un pozo perforado sobre la sección sísmica en cuestión atraviesa el tope de la Formación Agrio en el mismo tiempo doble al que se halla la base de la anomalía. La cota de este evento sísmico entonces correspondería aproximadamente a la cota absoluta del referido tope. Este pase se encuentra a 250 m.s.n.m., lo que se podría estimar como

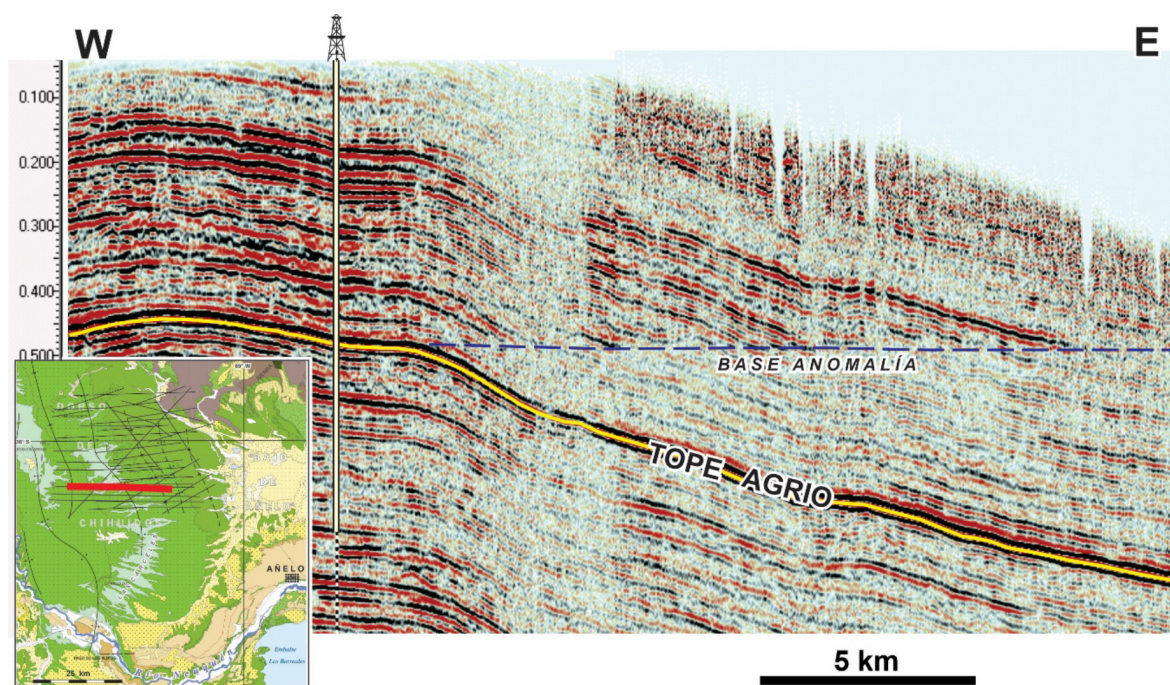


Figura 10. Sección sísmica utilizada para estimar la cota de la base de la anomalía de amplitud. Como se puede observar, el pozo atraviesa el tope de la Formación Agrio aproximadamente en el mismo TWT en el que se ubica la base de la anomalía. Por lo tanto, el tope en profundidad de la formación estaría indicando la cota del evento sísmico. Ubicación de la sección sísmica remarcada en rojo en el mapa.

la cota en la franja occidental de la anomalía. Este valor se encuentra unos 30 m por encima de la cota de la parte más deprimida del “Bajo de Añelo” (aproximadamente 220 m.s.n.m.), donde se interpreta (Alonso *et al.*, 2018; Meconi, 2018) que descarga el sistema freático. Estos 30 m de caída hacia el este, coincidentes con lo que muestra el mapa en tiempo (Fig. 7), muestran la pendiente del nivel freático e indicarían un flujo en ese sentido en el acuífero libre.

CONSIDERACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA HIDROLOGÍA

La zona estudiada se desarrolla en una región que, si bien es atravesada por los ríos Colorado y Neuquén, se caracteriza por un marcado déficit hídrico. Debido a esto, varios estudios hidrogeológicos se han realizado en ella con vistas a la administración del recurso hídrico para su utilización agrícola y consumo humano (Alonso *et al.*, 2016; Meconi, 2016, 2018). A estos usos se sumó últimamente estudios relacionados a la necesidad de agua para operaciones de fracking, como así también la localización de acuíferos para disponer las aguas “contaminadas” generadas en los procesos de fracturación.

El déficit hídrico de la región está claramente ejemplificado por la existencia de “bajos”, es decir depresiones cerradas en todo sentido, desconectadas de las redes fluviales. El Bajo de Añelo es el más importante de ellos. Otros ejemplos son los bajos de Los Barreales y Mari Menuco,

actualmente inundados artificialmente en el Complejo Hidroeléctrico de Cerros Colorados. Estos bajos, en condiciones hidrológicas más benignas estarían albergando lagos, o habrían sido incorporados a las redes fluviales, quedando expuestos a fenómenos de colmatación sedimentaria y erosión retrocedente. Curiosamente, el Río Neuquén discurre por el “alto” que separa el Bajo de Añelo de los bajos de Barreales y Mari Menuco, a unos 200 m por encima del piso de la primera de las depresiones.

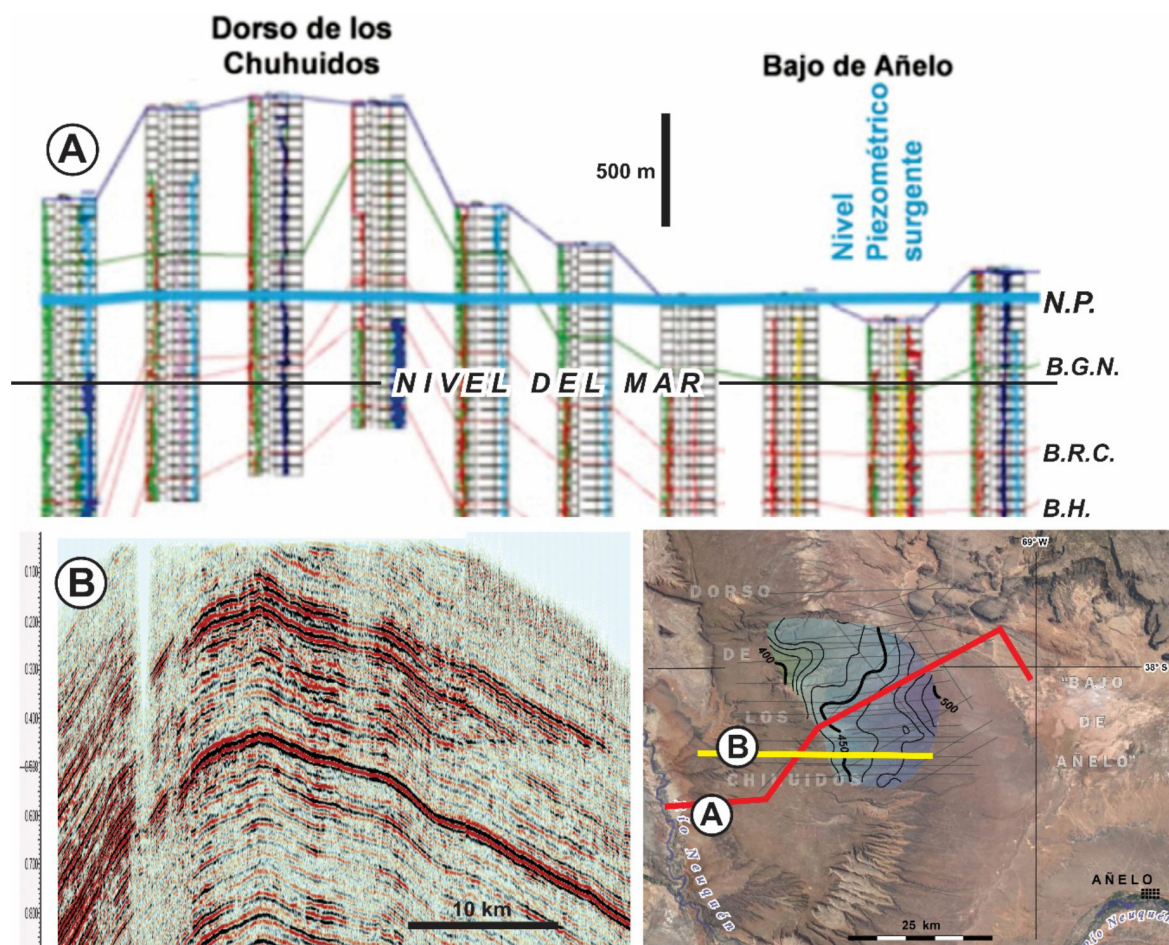


Figura 11. Comparación entre una sección hidrogeológica (A) (modificada de Meconi, 2018), y la sección sísmica de la Figura 4 (B), mostrando una fuerte similitud en la geometría. N.P.: Nivel piezométrico; B.G.N.: Base del Grupo Neuquén; B.R.C.: Base del “Rayoso Clástico”; B.H.: Base de la Formación Huitrín.

Los mencionados estudios hidrogeológicos coinciden en tratar al intervalo Rayoso-Neuquén como un sistema acuífero unificado, donde los niveles porosos de areniscas, si bien están separados por acuitardos, presentan puntos de contacto asegurando la continuidad de la fase acuosa entre ellos. Los niveles piezométricos (freáticos) estimados o medidos por estos autores en la zona en estudio varían, ya que de acuerdo a Meconi (2018) oscilan entre 350 y 400 m.s.n.m. (Fig. 11), mientras que, según Alonso *et al.*, (2018) se encuentran entre 200 y 300 m.s.n.m. en la zona más

baja, en el Bajo de Añelo, pero trepan hasta más de los 1000 m en la parte alta del Dorso de los Chihuidos (Fig. 12). Estos últimos valores discrepan bastante con los obtenidos aquí a partir de la sísmica que, como se vio, se ubican alrededor de los 250 m.s.n.m. (y también con los de Meconi, 2018), lo que indica que se debe seguir investigando para entender la diferencia y tratar de definir la verdadera topografía de la interfase freática.

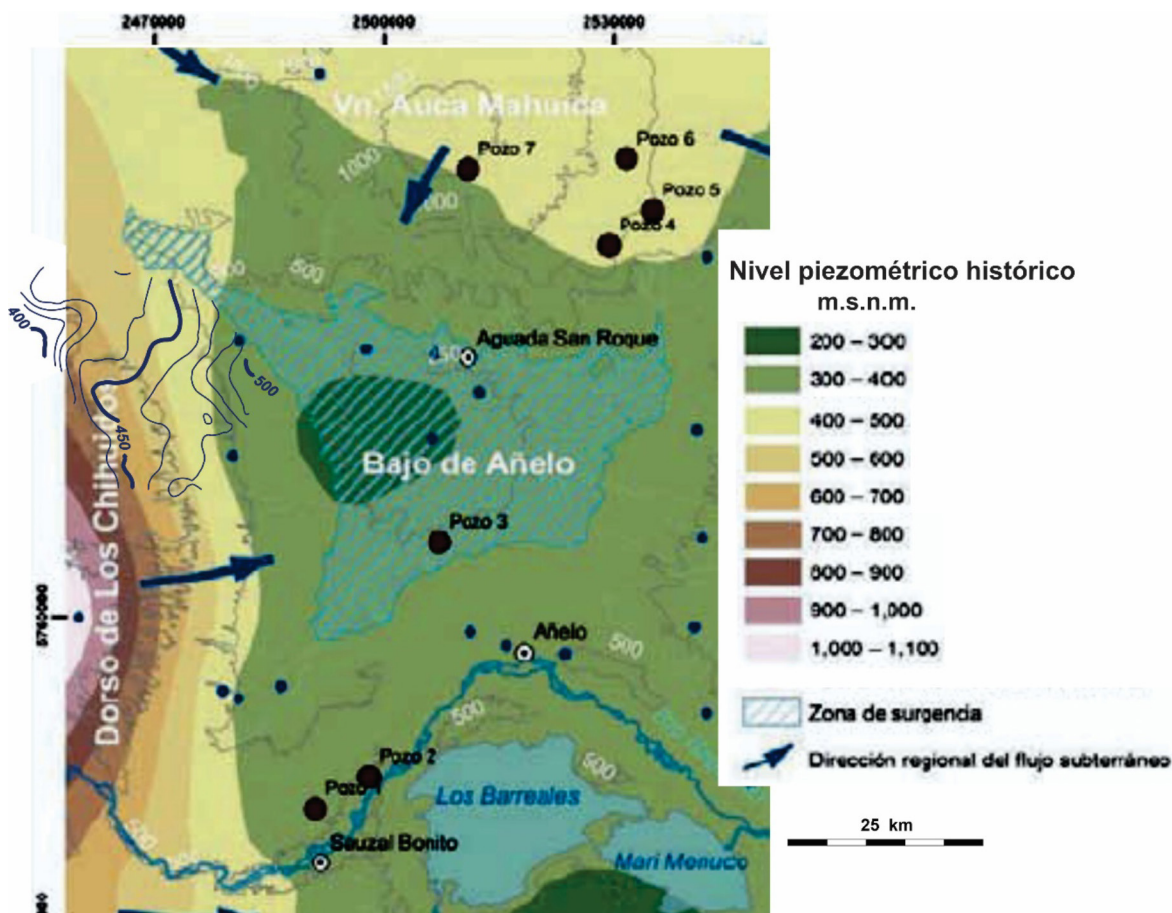


Figura 12. Comparación entre el mapa en tiempo de la base de la anomalía (contornos en azul, en ms) y el mapa piezométrico del Sistema Acuífero Rayoso Neuquén (Alonso *et al.*, 2018).

CAUSAS DE LA “VISIBILIDAD” DE LA SUPERFICIE FREÁTICA EN LA SÍSMICA DE LA ZONA

Siendo la superficie freática un elemento ubicuo, y teniendo presente que millones de kilómetros de sísmica se han registrado en los distintos continentes, se plantea el interrogante de por qué no han sido descriptas al momento situaciones como las que nos ocupan. La búsqueda en la bibliografía de ejemplos para comparar el caso expuesto ha sido infructuosa, implicando una cierta “rareza” para el mismo. Evidentemente tienen que darse ciertas condiciones especiales para

que la superficie freática y la zona vadosa asociada se muestren en los productos finales estándar del ciclo de registración-procesamiento de la información sísmica.

Uno de los condicionantes más importantes se relaciona con la profundidad en la que se localiza la superficie freática. Por lo general esta interfase se sitúa a unos pocos a decenas de metros por debajo de la superficie topográfica, a la que suele acompañar con una geometría más suave. De esta manera las dos superficies se acercan en las depresiones topográficas y tienden a separarse en los altos. La escasa profundidad a la que suele presentarse hace que su detección por la sísmica sea difícil ya que, al ubicarse en la parte más somera de la registración, queda fuera de los procesos que mejoran la señal (el apilado, por ejemplo) y expuesta al muteo que se aplica a la parte más alta de los registros. En el caso del sector analizado, la superficie freática se encuentra a centenares de metros (y hasta 1 km) de profundidad, profundidades en las que la registración y procesamiento ya están preparados para registrar la información y mejorar su relación con respecto al ruido.

Otro de los aspectos que seguramente influyeron en la generación de la anomalía fue el de las litologías involucradas, la alternancia de areniscas porosas con niveles impermeables más ricos en arcillas proveyó superficies estratales buenas generadoras de reflexiones. Al aspecto litológico (que controla las propiedades acústicas) se le debe sumar la presencia de espesores apropiados entre las distintas litologías.

Y, por último, se debe mencionar la actitud estructural de las capas que, al generar reflexiones inclinadas, permitió que la anomalía de amplitud cruce el patrón estructural y sea fácilmente visualizable, lo mismo que el *flat spot*. En una situación de capas subhorizontales, la anomalía hubiera pasado inadvertida, tal como ocurre en las secciones *strike* en la zona analizada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Tecpetrol S.A. la autorización para publicar el presente trabajo. Las sugerencias de los revisores Mario Atencio y anónimo permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS CITADAS

- Alonso, J., Giusiano A., Chebli G. y Ibañés G. (2011). El Shale gas en la Provincia de Neuquén. DPHyE NQN – Phoenix Oil & Gas SA.
- Alonso M., A. Giusiano y A. Dufilho, 2016. Caracterización Hidrogeológica de la Formación Rayoso y del Grupo Neuquén en el sector centro norte de la Provincia del Neuquén. IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Catamarca, Argentina
- Alonso M., A. Dufilho y A. Giusiano, 2018. Límites litoestratigráficos de las unidades acuíferas Formación Rayoso y Grupo Neuquén en la Cuenca Neuquina. X Congreso Argentino de Hidrogeología y XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología

- Brown, A 2011 Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data, Seventh Edition: AAPG Memoir 42, 7th Edition/SEG Investigation in Geophysics, No. 9
- Maretto, H. y Pángaro, F. 2005. "Edad de formación de algunas de las grandes estructuras del engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad tectónica durante la depositación de la Fm. Quintuco". VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- Meconi, G., 2016. Sistema Acuífero Grupo Neuquén y Formación Rayoso (S.A.Ne.Ra.). Sistematización para uso sustentable en reservorios no convencionales de la Cuenca Neuquina. IX Congreso Argentino de Hidrogeología. Tomo Hidrogeología Regional, 228-237.
- Meconi, G., 2018. Sistemas acuíferos y modelos hidrogeológicos conceptuales: Herramientas de evaluación de recursos hídricos para uso sostenible en upstream. Ejemplos. 10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG. 1131-1159
- Messenger, G., Nivière, B., Lacan P. y Hervouët, Y. 2013. PlioQuaternary thinskin tectonics along the crustal front flexure of the southern Central Andes: a record of the regional stress regime or of local tectonic driven gravitational processes? International Journal of Earth Sciences, 103, 929-951.
- Micucci, E., Bande, A., Starck, D. y Veiga, R. 2018. El Jurásico del Dorso de los Chihuidos, contribución a su conocimiento. 10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, 437-460 (Mendoza).
- Rodríguez, E., 1990. "Las cárceles" y su significado en la evolución geomorfológica del anticlinal de los Chihuidos, Neuquén: ". Boletín de Estudios Geográficos, No. 86, p. 129-141.
- SEGEMAR, 2011. Mapa geológico de la Provincia del Neuquén
- Wang, Z 2001 Y2K Tutorial Fundamentals of seismic rock physics: Geophysics, 66, N. 2 pp 398-412.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Ramos, V.A., Rodríguez, F. y Bernardo, L. 2009. Evolución tectónica del Frente Andino en Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 65: 192-203.