

DIAGRAMAS ROCK PHYSICS TEMPLATE EN EL YACIMIENTO AGUADA DEL CHIVATO - BOCAREY, EN EL ÁREA DE RINCÓN DE LOS SAUCES, NEUQUÉN

Julio C. Hlebszevitsch¹, Julián E. Stein¹

1: Medanito S.A., jchlebszevitsch@medanito.com.ar, jstein@medanito.com.ar

Palabras clave: Física de rocas, Rincón de los Sauces, Vaca Muerta

ABSTRACT

The RPT diagrams (Rock Physics Template) are known as tools that allow to interpret lithologies, fluids and relate petrophysical properties of rocks. This contribution is focused at Rincón de los Sauces area, on the edge of the Neuquen Basin platform, analyzing the geological column from the base of the Neuquén Group to the Lotena Group. The data studied allows us to conclude that the RPT diagrams would not have direct application to Vaca Muerta / Quintuco Formation, due to the complex relationship between the petrophysical and lithological properties versus the elastic responses. The rest of the analyzed lithologies present simpler behaviors between the analyzed properties.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Aguada del Chivato - Aguada Bocarey (Fig. 1) cuenta con más de 50 años de historia de producción. Posee una superficie total de 82 km² aunque el desarrollo principal se encuentra en la zona central del mismo, con unos 20 km² y 44 pozos perforados, de los cuales 29 fueron realizados por la compañía Medanito. El principal reservorio de este yacimiento lo constituyen las areniscas, areniscas calcáreas y carbonatos de la Formación Mulichinco (Weaver 1931), ubicado a una profundidad promedio de 2.000 metros y con una potencia promedio de 150 metros. Por otro lado, existen

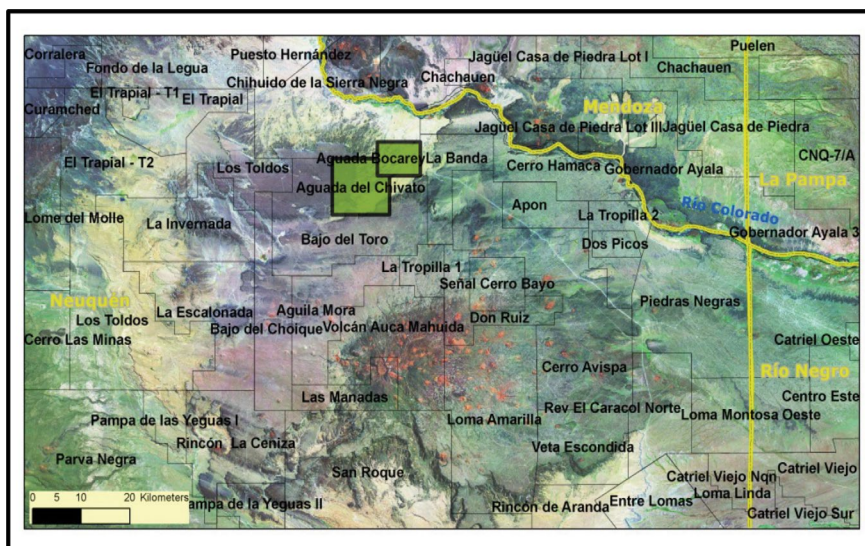


Figura 1. Mapa de ubicación del Yacimiento Aguada del Chivato.

acumulaciones de petróleo y gas en las Formaciones Agrio y Rayoso y recientemente se comenzó a estudiar las Formaciones Vaca Muerta y Lajas.

Teniendo en cuenta la variabilidad interna del principal reservorio del yacimiento y los diferentes reservorios identificados a distintas profundidades de la columna geológica se

decidió utilizar los diagramas RPT para ayudar en la caracterización de tan variados objetivos.

Los atributos petrofísicos derivados del AVO son controlados por la Impedancia acústica (IA) y la relación V_p/V_s (relación de Poisson). Ødegaard y Avshet (2004) desarrollaron los diagramas RPT (*Rock Physics Template*) como una guía para la interpretación de litologías y fluidos. Estos diagramas permiten diferenciar entre arenas y pelitas, y conocer la influencia de la porosidad y el fluido de poros. Veeken (2007) aportó las siguientes generalizaciones:

1. El incremento de la saturación de gas reduce los valores de Impedancia Acústica y la relación V_p/V_s .
2. El incremento del volumen de cemento incrementa la Impedancia Acústica y disminuye la relación V_p/V_s .
3. El incremento de la porosidad disminuye la Impedancia Acústica e incrementa la relación V_p/V_s .
4. El incremento de la arcillosidad reduce la Impedancia Acústica pero incrementa la relación V_p/V_s .
5. Cambios de la presión de formación no tienen mucha influencia pero puede disminuir la Impedancia Acústica y aumentar la relación V_p/V_s .

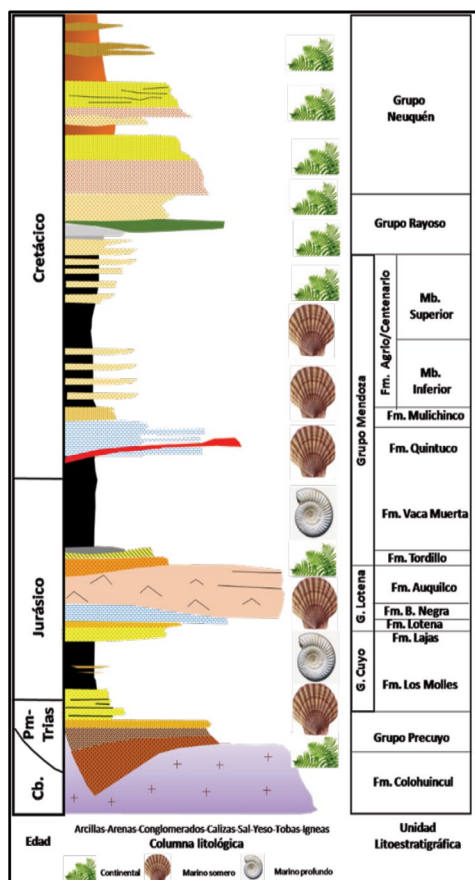


Figura 2. Columna estratigráfica de la Cuenca Neuquina

Este autor, sin embargo, considera que los diagramas RPT dependerán de cada cuenca e inclusive del área estudiada dentro de una cuenca. Por otro lado, debe hacerse una distinción entre sistemas silicoclásticos y carbonáticos. A partir de los trabajos de Ødegaard y Avseth (2004), Hossain y MacGregor (2014), y Gegenhuber y Pupos (2015), Schön (2015) sintetiza las observaciones en un único cuadro RPT (Fig. 3). Cabe mencionar, que Schön (2015) utiliza un concepto más amplio para diagramas RPT, al incluir como tales, los gráficos de relación V_p/V_s vs IA medidos en laboratorio por Gegenhuber y Pupos (2015). Este concepto de Schön (2015) es el que se emplea en esa contribución.

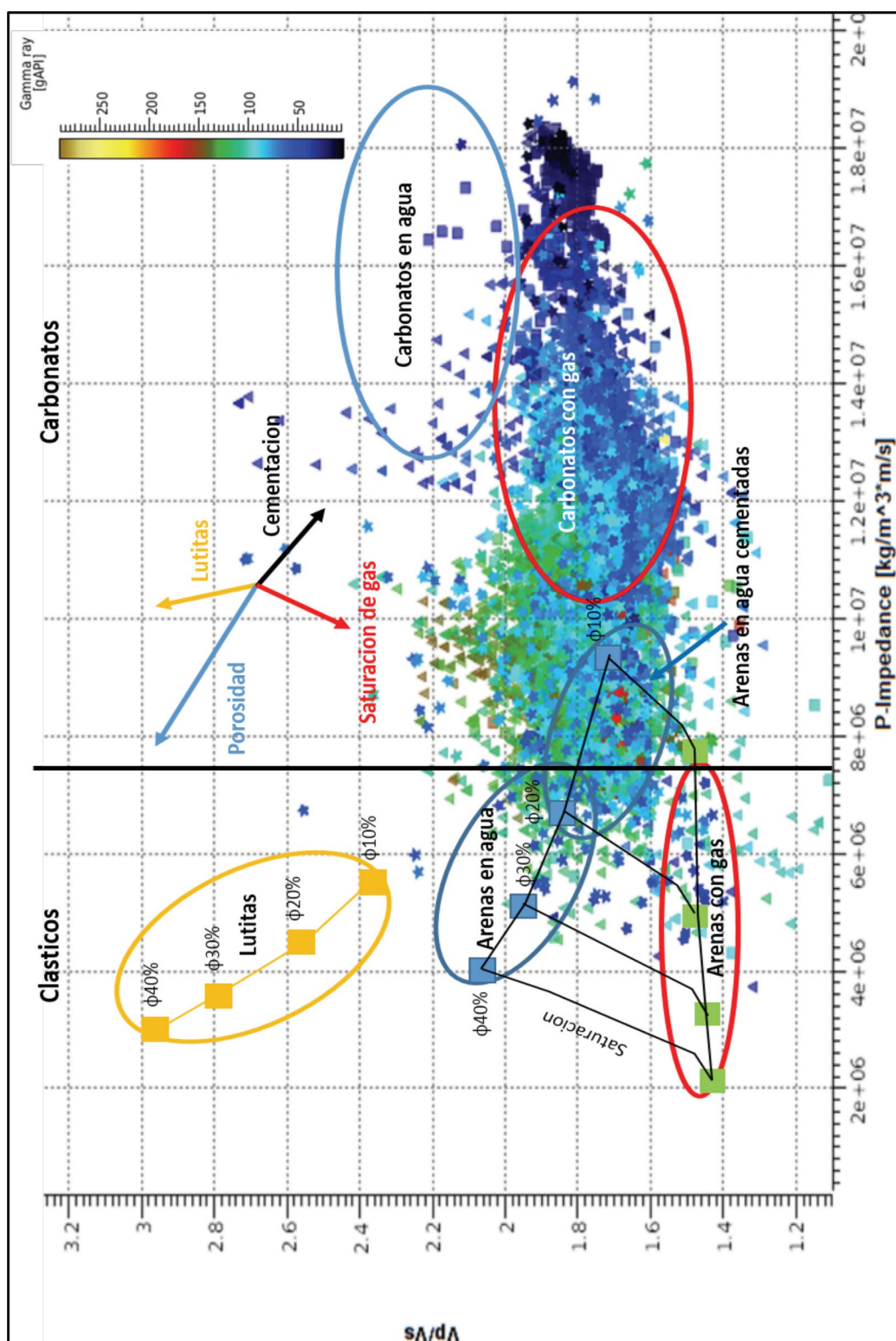


Figura 3. Diagrama IA vs. V_p/V_s , para las diferentes formaciones de la columna geológica de la cuenca Neuquina, y correspondiente a varios sondeos con la campos definidos por Schön (2015).

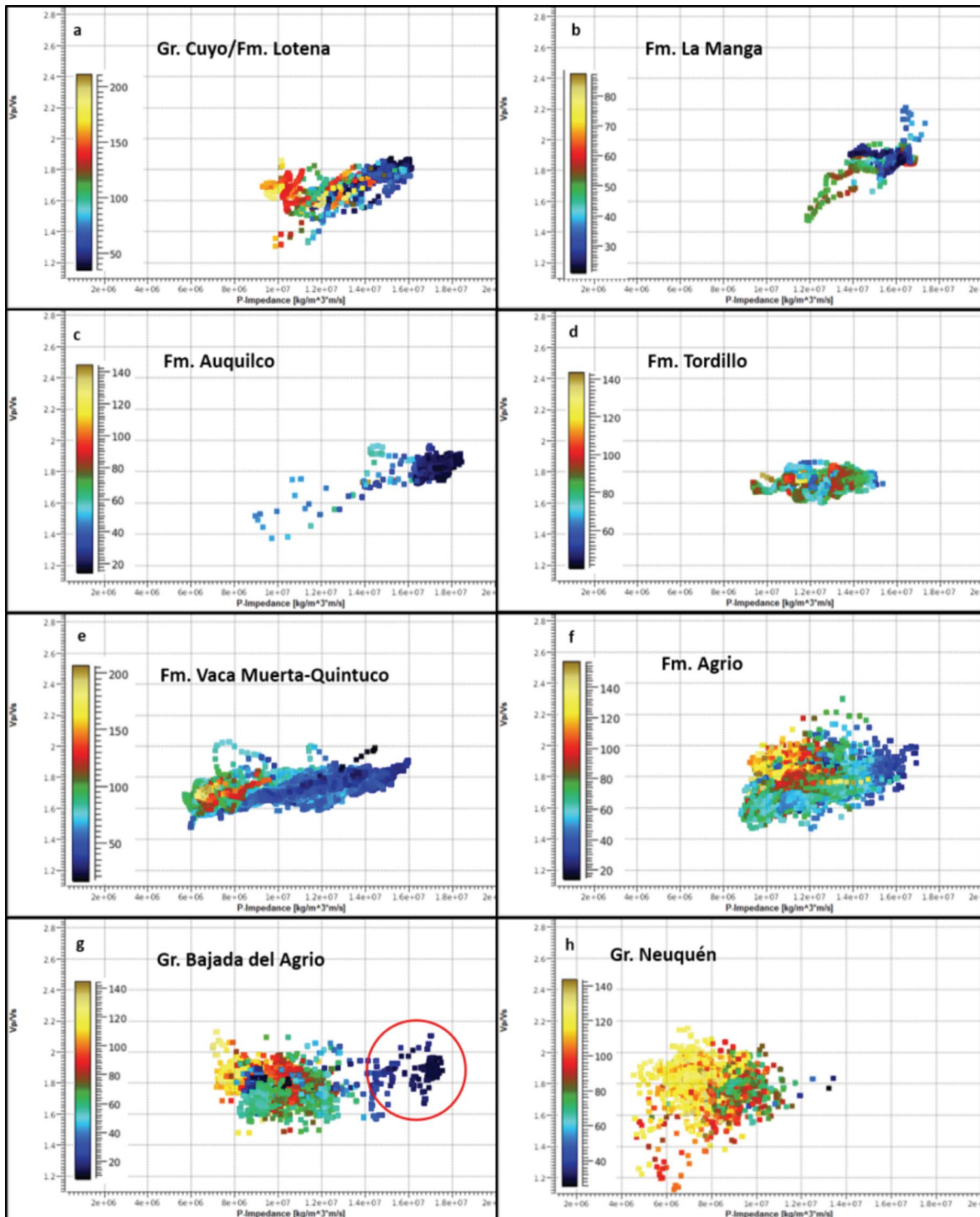


Figura 4. Relaciones IA vs. V_p/V_s para las diferentes formaciones en el área de Rincón de los Sauces. En todos los casos la escala de colores corresponde al Gamma Ray. El círculo rojo en el Grupo Bajada del Agrio indica la presencia de evaporitas, similar comportamiento se observa en la Fm. Auquilco.

Análisis de la columna geológica

La columna geológica conocida en la región de Rincón de los Sauces, presenta un desarrollo que se extiende entre el Grupo Cuyo y el Grupo Neuquén.

Los datos analizados provienen de perfiles y coronas obtenidos en 10 pozos dentro de la concesión. Los pozos utilizados presentan una distribución regular dentro del yacimiento y los perfiles utilizados fueron Rayos Gamma, Sónico, Densidad. También se incluyó la descripción de coronas y la medición de ondas P y S en plugs bajo diferentes condiciones de laboratorio.

Un análisis del comportamiento de las formaciones de acuerdo a los diagramas RPT permite establecer las siguientes inferencias para las distintas unidades:

Las pelitas del Grupo Cuyo y la Formación Lotena, presentan valores de IA del orden de 1×10^7 a 1.4×10^7 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$, las arenas más limpias alcanzan valores de 1.6×10^7 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$, en ambas litologías la relación Vp/Vs oscila entre 1.55-1.85, como se observa en la Fig. 4.

La Formación La Manga presenta altos valores de IA (rango 1.4×10^7 - 1.8×10^7 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$), así como relaciones Vp/Vs mayores a 1.8, alcanzando un máximo de 2.2. Por encima de esta unidad, la Formación Auquilco presenta relaciones Vp/Vs semejantes, pero con IA mayores, si bien pueden tener un solapamiento parcial con los carbonatos de la Fm. La Manga (Fig. 4).

La Formación Tordillo se halla acotada mayormente entre valores de Vp/Vs que oscilan entre 1.6 y 1.85, en tanto que las IA tienen un rango entre 9×10^6 y 1.5×10^7 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$.

La Formación Vaca Muerta se ubica en los campos de arenas porosas a arenas cementadas con agua, de acuerdo al esquema RPT de Schön (2015), extendiéndose a carbonatos con gas (Fig. 3).

Si analizamos el contenido de materia orgánica (COT) podemos destacar que no se observa una relación clara entre la misma y las IA o con la relación Vp/Vs (Fig. 5). Valores elevados de materia orgánica (COT) presentan valores bajos a medios de IA, los cuales también se observan en otras litologías con valores bajos de COT.

Este primer análisis nos permitiría pensar que los bajos valores de IA, responden a una combinación de factores tales como la presencia de lutitas, la sobrepresión, el bajo contenido de carbonato y/o altos contenidos de COT.

Por otro lado, algunas facies con mayor contenido de carbonatos, y por ende mayor IA, también pueden presentar altos contenidos de COT. Esto hace que la relación entre las propiedades elásticas y petrofísicas en la Fm. Vaca Muerta sean muy complejas y no tan directas como se supone. Por otro lado, no debemos dejar de considerar que en el campo de las frecuencias sísmicas estas relaciones son todavía más difíciles de discernir.

En líneas generales las relaciones en los diagramas RPT de las Fms. Lotena, Vaca Muerta-Quintuco, Agrio y Gr. Bajada del Agrio son similares, desplazándose a mayores IA si aumenta

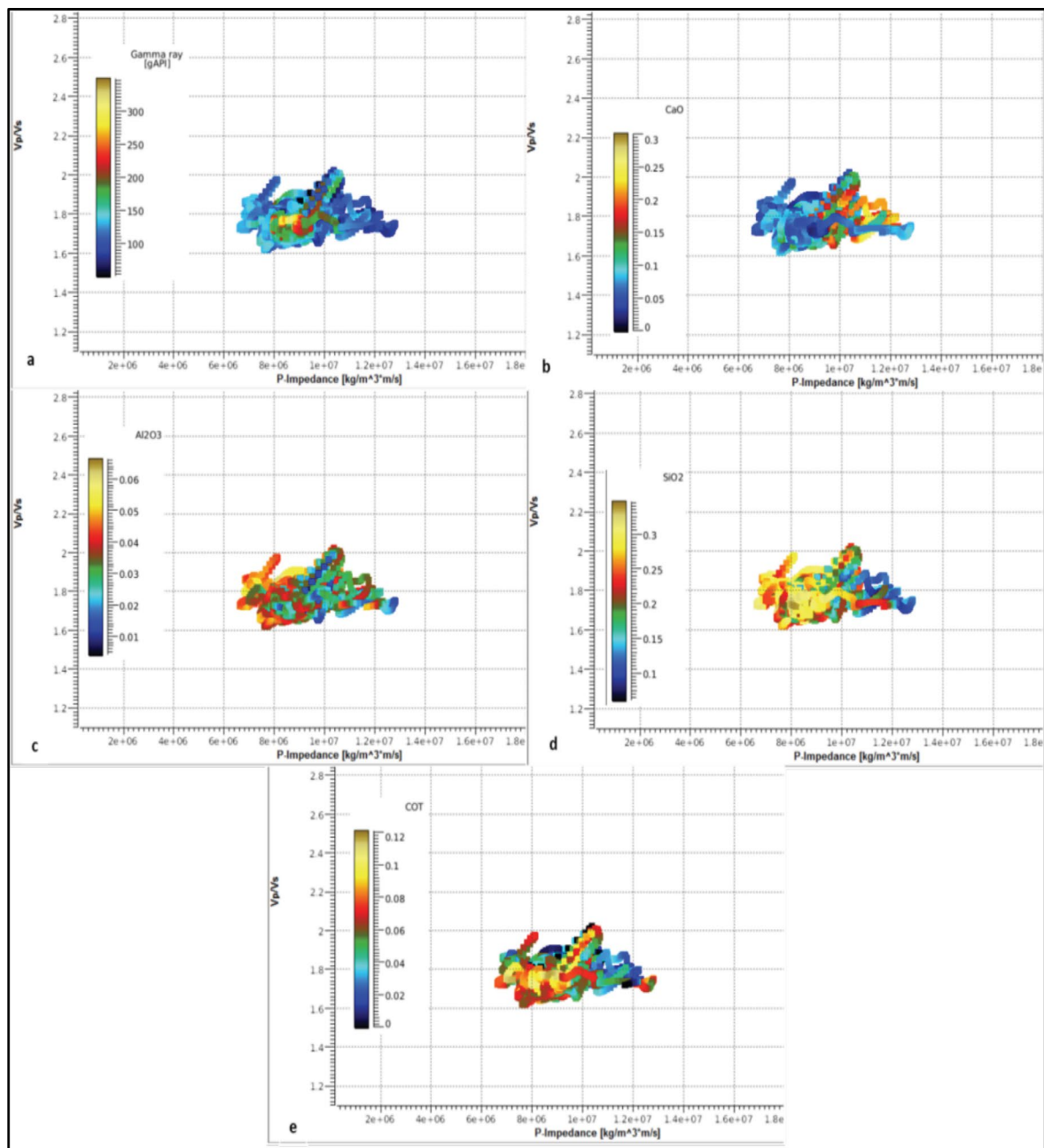


Figura 5. Diagramas IA-Vp/Vs para la Fm. Vaca Muerta-Quintuco. Esta relación se coloreó con valores de: a-Gamma ray, b-CaO, c-Al₂O₃, d-SiO₂, e-COT (contenido materia orgánica).

el contenido de cemento carbonático, y a menores valores de IA en la zona sobrepresionada de la Formación Vaca Muerta. Por encima, el Grupo Neuquén presenta el rango de valores absolutos de IA más bajos en la columna geológica, lo que se interpreta como consecuencia de su menor compactación, si bien en parte también sus valores se superponen con las restantes formaciones.

Las arcillas son coincidentes con los campos de arenas no cementadas con gas en el diagrama de Schön (2015) y presentan los valores de IA más bajos dentro del diagrama. Esto se interpreta por la baja compactación de las arcillas.

En general se observa que las formaciones, a excepción de las aquellas constituidas por componentes mayormente ortoquímicos, se distribuyen en el diagrama RPT en los campos correspondientes a las arenas cementadas en aguas y a carbonatos con gas de Schön (2015). En el caso de la Fm. La Manga, Auquilco y niveles evaporíticos del Grupo Rayoso (formaciones que presentan litosomas constituidos por elementos ortoquímicos) se ubican entre los campos de carbonatos con gas a carbonatos en agua.

Consideraciones sobre la presión de confinamiento

En testigos corona de la Fm. Vaca Muerta, se realizaron ensayos geomecánicos a fines de obtener propiedades elásticas. Los ensayos se realizaron a tres valores de presión de confinamiento diferentes 500, 1500 y 3000 psi. La litología utilizada para el estudio fue una margas bituminosa. Se observa que a una mayor presión de confinamiento hay una menor dispersión de valores respecto a la relación V_p/V_s y que un aumento en la presión de confinamiento produce un aumento en la relación V_p/V_s y un aumento en la IA (Fig. 6).

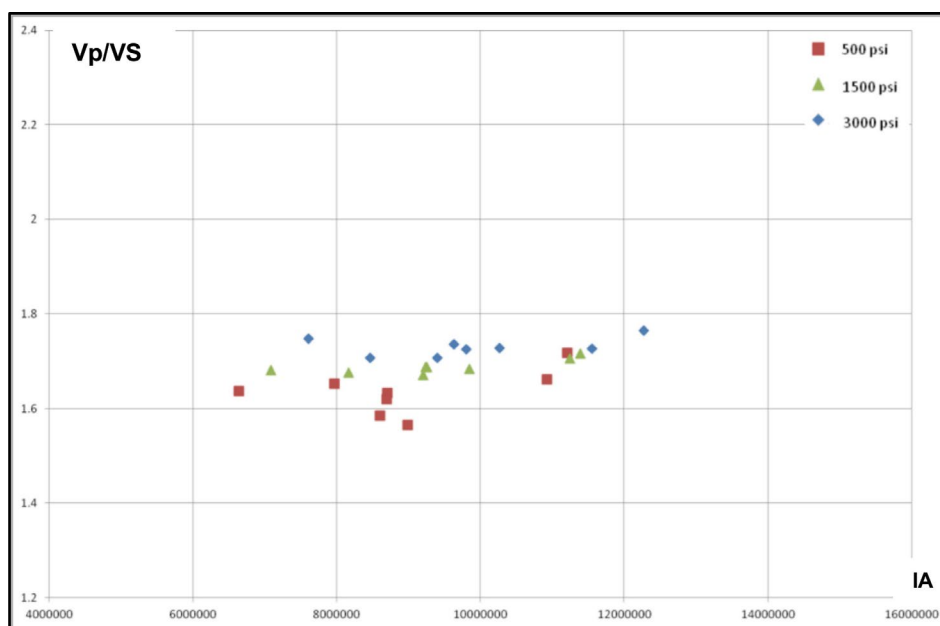


Figura 6. Relación IA vs. V_p/V_s , para muestras de la Fm. Vaca Muerta-Quintuco, a distintas presiones de confinamiento.

Análisis de la Fm. Mulichinco

Por tratarse del principal reservorio en el yacimiento Aguada del Chivato se analizaron 90.75 m de coronas de la Fm. Mulichinco, de la cual se extrajeron 20 muestras desde 2074.50 m hasta 2161.40 m. Con estas muestras se representó al conjunto de los diferentes reservorios dentro de esta unidad formacional. Se realizaron medidas de velocidad de un pulso de ultrasonido sobre los plugs cilíndricos con el objetivo de determinar los valores de velocidad P y S de los distintos intervalos formacionales.

En la Figura 7 se presentan las litologías muestreadas con sus características petrofísicas. Se trata de 11 litologías definidas sobre el total de 20 muestras.

Litología	Cemento (%)	Φ promedio	K promedio
Arena lítico feldespática (bioclástica)	40	7.4	0.16
Arena lítico feldespática finas	-	7.93	0.19
Arena lítico feldespática finas a medias	10 - 11	53.8	89.44
Arena lítico feldespática de grano fina	10	12.97	13.61
Arena lítico feldespática finas a muy finas	19	11.2	8.24
Dolomía arenosa	-	7	0.79
Grainstone arenoso oolítico/bioclásticos	-	3.92	0.06
Dolomía	-	4.69	0.39
Dolomía arenosa (grainstone oolítico)	-	10.64	58.66
Dolomía arenosa (grainstone arenoso y arenitas calcáreas dolomitizadas)	-	7.85	0.16
Arenita feldespática lítica muy fina a fina	4.5	14.68	12.07

Figura 7. Cuadro de las principales propiedades petrofísicas de los reservorios de la Fm. Mulichinco (los valores de permeabilidad están expresados en mDarcy).

Los resultados obtenidos muestran dos campos definidos (Fig. 8). El primero corresponde a las dolomías con altos valores de relación V_p/V_s (1.8-1.95) y el segundo agrupa a las litologías restantes, constituido por arenas lítico-feldespáticas y grainstones oolíticos. En este último grupo se observa las siguientes tendencias:

- 1- el contenido de cemento (en este caso mayormente dolomítico) impacta en la relación V_p/V_s , a mayor contenido de cemento mayor relación V_p/V_s
- 2- la porosidad tiene impacto en las IA, a mayor porosidad menor IA.

Dado la escasa cantidad de matriz arcillosa en las muestras analizadas, no se observa una clara relación de la arcillosidad con los parámetros V_p/V_s e IA.

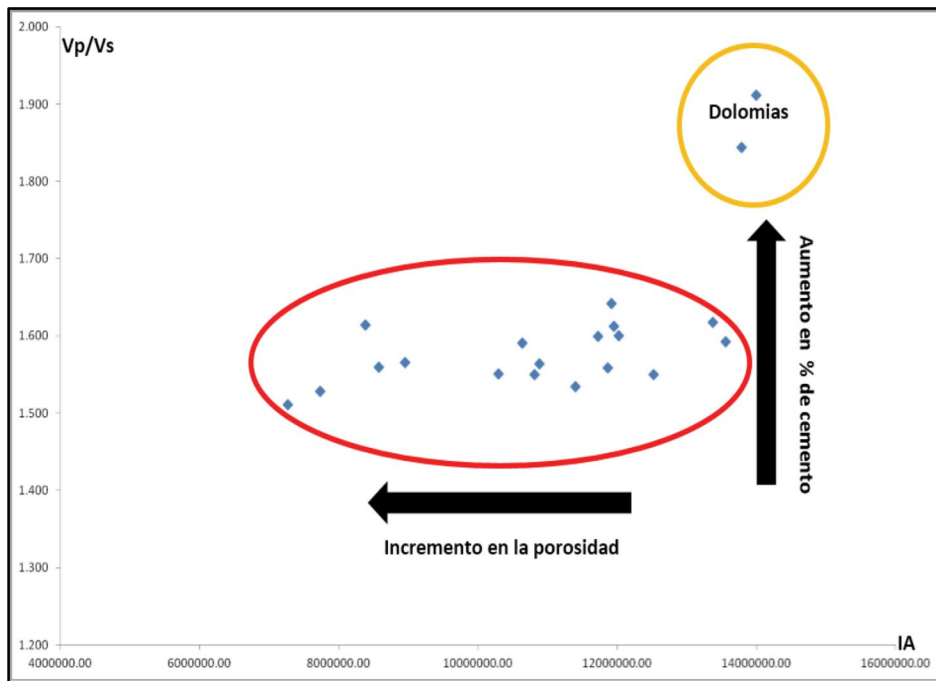


Figura 8. Relaciones IA vs. Vp/Vs para reservorios de la Fm. Mulichinco

CONCLUSIONES

- Se presenta a continuación un diagrama IA vs. Vp/Vs elaborado para la columna geológica comprendida entre la Fm. La Manga y Grupo Neuquén, para el sector Rincón de los Sauces, en base a las observaciones antes mencionadas (Fig. 9).

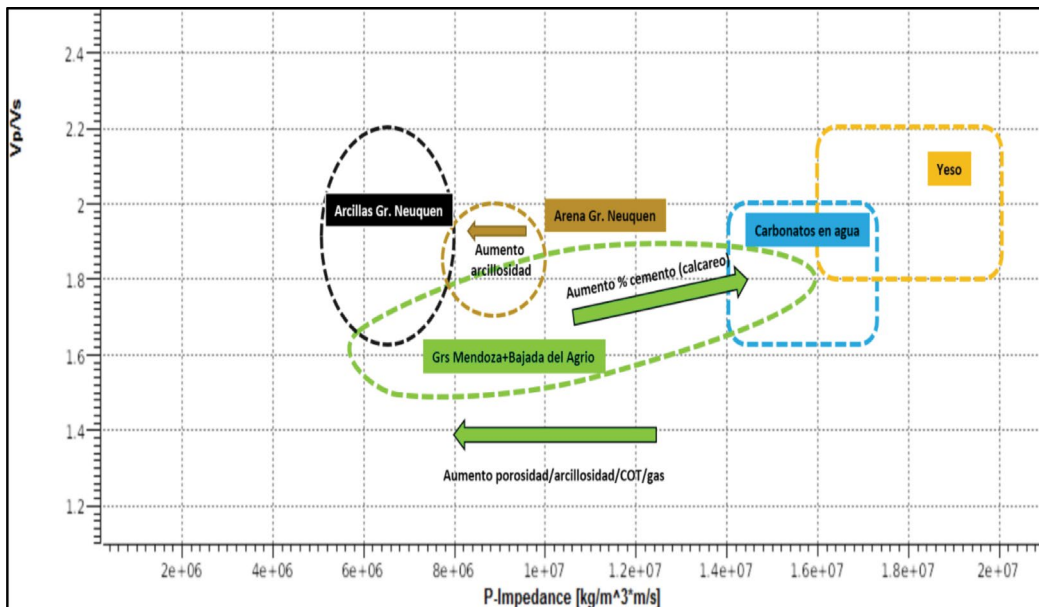


Figura 9. Diagrama IA vs. Vp/Vs elaborado para la columna geológica comprendida entre la Fm. La Manga y Grupo Neuquén en el sector Rincón de los Sauces.

- Los diagramas RPT no tendrían aplicación directa a la Fm. Vaca Muerta/Quintuco, dada la compleja relación que presentan las propiedades petrofísicas y litológicas sobre las respuestas elásticas.
- Las restantes formaciones muestran relaciones más simples entre IA y arcillosidad e IA vs. V_p/V_s con cementación.
- Un aumento en la presión de confinamiento produce un aumento en la relación V_p/V_s .
- Por otro lado, se coincide con Veeken (2007) en que para cada cuenca y sector de la misma deben realizarse diagramas RPT específicos.

REFERENCIAS CITADAS

- Gegenhuber, N. y J. Pupos, 2015, "Rock physics template from laboratory data for carbonates", *Journal of Applied Geophysics*, N° 114, p.12–18.
- Hossain, Z. y L. MacGregor, 2014, "Advanced rock-physics diagnostic analysis: a new method for cement quantification", *Leading Edge*, N° 33, p. 310–316.
- Ødegaard, E. y P. Avshet, 2004, "Well log and seismic data analysis using rock physics templates", *First Break*, N° 23, p. 37–43.
- Schön, J.H., 2015, "Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics", Vol. 65, 512 p., Segunda Edición, Elsevier.
- Veeken, P.C.H., 2007, "Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterization", *Seismic Exploration*, Vol. 37, 552 p., Elsevier.
- Weaver, C.E., 1931, "Paleontology of the Jurassic and Cretaceous central Argentina", University of Washington, Memoir, 496 p. New York