

CORRELACIÓN Y MAPEO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE PERFORACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TRÉPANOS. UN CASO DE ESTUDIO EN EL YACIMIENTO CENTENARIO, CUENCA NEUQUINA, ARGENTINA

Pedro Casanueva¹, Martín Paris², Cindy Rodríguez³, Guillermo Crespo⁴

1: Pluspetrol S.A. pcasanueva@pluspetrol.net

2: Consultor independiente. mp.geol@gmail.com

3: Consultora independiente. cindy.vianey.rodriguez@gmail.com

4: Consultor independiente. guillermo52crespo@gmail.com

Palabras clave: Optimización de trépanos, ROP, UCS

ABSTRACT

The Centenario block is a mature field producing oil and gas, from sandstones and compact conglomerate sandstones from the Los Molles and Lajas formations. This field, located in the province of Neuquén (Argentina), is operated by the company PLUSPETROL S.A.

The formations of interest are usually drilled to 8.5-*inch* diameters in a single run with a PDC bit. The empirical experience of the drillers, acquired over the years, indicates that both formations show differences in their behavior when drilled, with the ROP (rate of penetration) decreasing towards the northern sector of the field, where the rocks seem to be more resistant. This variability in the resistance of the rock is corroborated with 3D mapping carried out in the area for both formations. Both ROP and UCS (unconfined compressive strength computed from well logs) have been mapped. This corroborates the variability observed by the drillers and also allows the degree of correlation between both parameters to be analyzed, which is good.

INTRODUCCIÓN

Numerosos autores han propuesto relaciones entre propiedades elásticas y la energía mecánica específica (MSE), calculada a partir de parámetros de perforación.

Dupriest y Koederitz (2005) consideran la energía mecánica específica como el mejor indicador de la eficiencia en perforación para trépanos, permitiendo la misma optimizar los parámetros de perforación en tiempo real, selección de trépanos y optimización del diseño de BHA (*bottomhole assembly*), entre otras aplicaciones. VanderKooi (2017) encuentran en el MSE es una buena aproximación al UCS, el cual utilizan para optimizar la completación de pozos *shale*.

Ouenes *et al.* (2019) implementan una corrección al MSE que compensa las pérdidas de energía por fricción a lo largo del pozo y a partir de éste, derivan parámetros geomecánicos necesarios para el diseño de fracturas hidráulicas.

El presente trabajo describe una metodología para obtener y correlacionar datos de perforación, tales como UCS (resistencia de la roca a la compresión no confinada) y ROP (tasa de penetración del trépano). Se utilizó en principio solo el ROP, ya que habían sido observados cambios en el mismo en diferentes zonas del bloque, quedando para el futuro, estudios más exhaustivos que involucren la energía mecánica específica.

Las premisas existentes a priori, eran que el ROP de las formaciones de interés decrecen hacia el Norte. Esto último, según la experiencia de los perforadores. Otra premisa era que el ROP tenía una vinculación con el UCS, lo que significa que es más lenta la perforación de la roca cuanto mayor sea su UCS. Para eso se genera un modelo 3D de las formaciones de interés para el yacimiento a partir del análisis de datos de 25 pozos. Cabe mencionar que el UCS es computado a partir del perfil de DT (delta de tiempo de tránsito compresional).

La principal incertidumbre existente al comenzar el estudio fue, que al mapear ROP se estaban utilizando pozos de diferentes épocas, con trépanos PDC pertenecientes a diferentes compañías de servicio; haciendo que los datos no sean comparables entre sí. Sin embargo, se obtienen tendencias validas, coincidentes con las observaciones de los perforadores, así como también una correlación aceptable entre ROP y UCS.

Esto permite extraer datos sintéticos para la optimización de los trépanos en nuevas locaciones a perforar, los cuales muestran una buena coincidencia con los datos medidos luego de realizado el pozo.

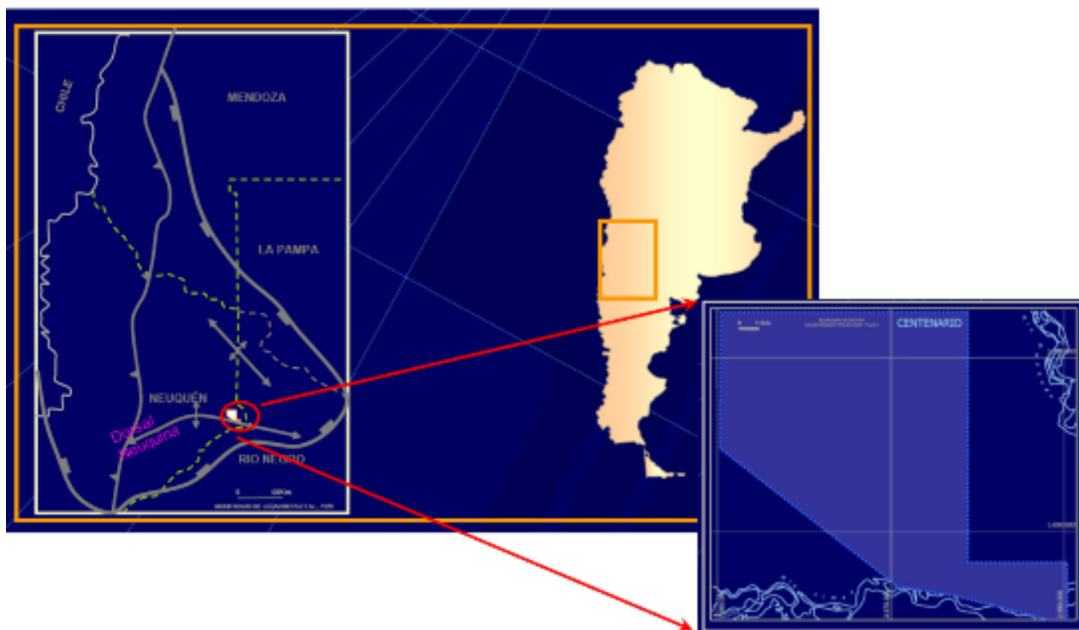


Figura 1. Ubicación del yacimiento Centenario en la Cuenca Neuquina.

MARCO GEOLÓGICO

El yacimiento Centenario se encuentra en el flanco Sur de la cuenca Neuquina (Figura 1), y en el sector oriental, al Norte de la Dorsal de Huincul. Dicha dorsal, cuya orientación es Este-oeste, constituye el rasgo tectónico más relevante en el ámbito del engolfamiento Neuquino. La estructura del yacimiento es un hemianticlinal de rumbo Este-Oeste ubicado en el bloque bajo de una falla normal de carácter regional reactivada por inversión tectónica. Un juego de fallas sub-paralelas de rumbo NO-SE y N-S que afectan el flanco N de la estructura y compartimentalizan los reservorios en distintos bloques. Hacia el N, la estructura se profundiza rápidamente hacia el centro de la cuenca.

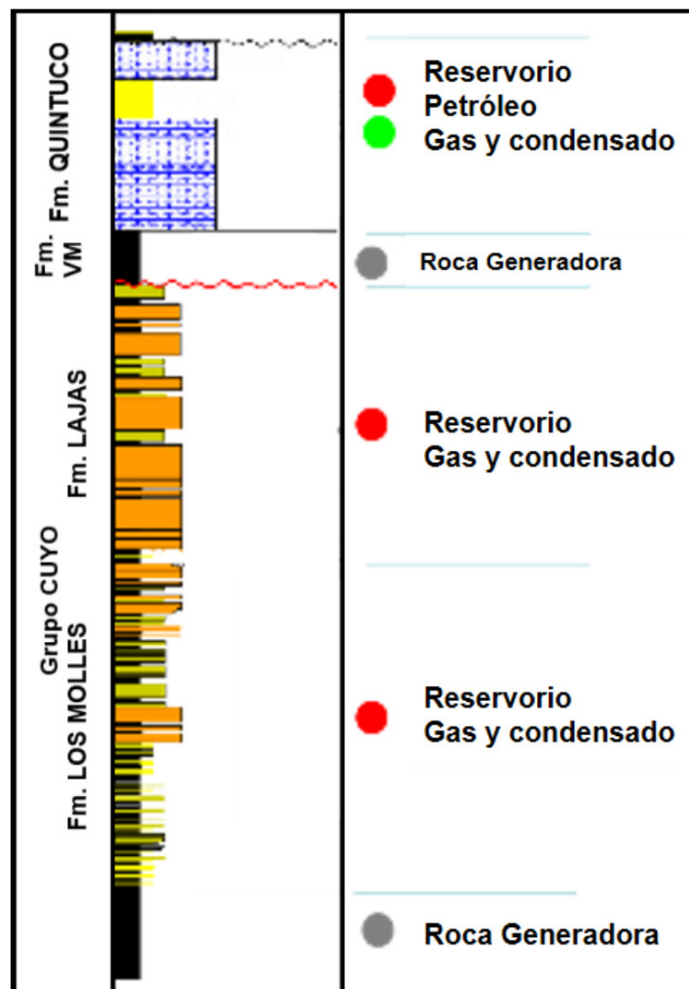


Figura 2. Columna estratigráfica y rocas generadoras y reservorios en el área de estudio.

Si bien este yacimiento posee múltiples reservorios (Figura 2), los cuales producen en diferentes sectores del mismo, nos ocuparemos en este estudio de las formaciones Lajas y Los Molles.

La formación Los Molles se encuentra compuesta por una secuencia de areniscas, conglomerados y pelitas de edad Toarciana dispuestos en arreglos progradantes, constituido por facies de conglomerados de canales y facies de areniscas de lóbulos. El ambiente deposicional de Los Molles estaría representado por depósitos de abanicos deltaicos dominados por avenidas fluviales en un ambiente tectónicamente activo (Gómez Omil *et al.* 2002). Las avenidas fluviales tienen semejanza con los sistemas de turbiditas estas constituyen el principal componente estratigráfico de la mayoría de las sucesiones aluviales y marinas someras, presentes durante el relleno de cuencas tectónicamente activas.

La Formación Lajas marca la somerización del ambiente sedimentario, ya que la participación clástica gruesa se hace predominante respecto a la fase pelítica de origen marino. Los depósitos corresponden a un ambiente fluvio - deltaico con abundante participación de conglomerados y areniscas conglomerádicas. Morfológicamente toda la secuencia es un prisma sedimentario de considerable espesor, con un desarrollo sub-paralelo a la falla principal del yacimiento (Sebastián María, Informe petrofísico de Fm. Lajas y Molles, mayo 2009).

Flujo de trabajo

La Figura 3 muestra el flujo de trabajo utilizado en el desarrollo de este proyecto. Se realiza inicialmente un detallado QC a la información de los pozos seleccionados de la zona (tomando 25 pozos de referencia para el estudio). A partir de las propiedades de Densidad, porosidad, GR (perfil de rayos Gamma), DT, Vsh (volumen de *shale*) y ROP (principalmente) se analizan tendencias y se determinan ecuaciones empíricas calibradas para el cálculo de UCS en cada pozo.

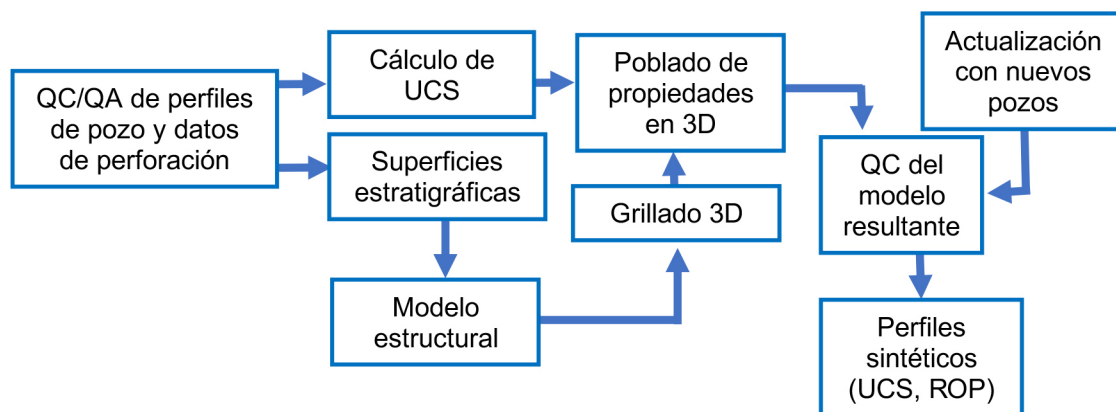


Figura 3. Flujo de trabajo utilizado.

Luego se procede a construir un modelo estructural completo basado en tres referencias: los topes formacionales de Los Molles y Lajas (formaciones de interés) y las fallas geológicas que ayudan a delimitar el modelo lateralmente y el área del campo. Al generar la malla 3D se procede a distribuir las propiedades descritas anteriormente, aplicando los mismos cálculos utilizados en los pozos, pero en el modelo 3D, interpolando las propiedades de los pozos de forma determinística y utilizando una tendencia para guiar los datos lejos del control de los pozos, con el método estocástico es SGS (simulación gaussiana secuencial), donde se definen y analizan variogramas para cada zona a modelar y su posterior tendencia puntual hacia el resto del modelo. Finalmente, con el resultado y análisis de las propiedades interpoladas en la malla se realiza una extracción de las pseudo-propiedades del modelo 3D ahora a 1D en los pozos diseñados para perforar.

Modelo 3D (estructural y estratigráfico)

En el proceso de análisis del campo Centenario se genera una malla geológica basada en la estructura geológica, conformada por una falla normal de carácter regional reactivada por inversión tectónica y 17 sub-fallas de tipo normal con tendencia N-S y distribuidas geológicamente casi perpendiculares a la falla regional (Figura 4).

Los horizontes suministrados son validados realizando un QC entre tope y horizonte en correlaciones 1D y posterior verificación en el modelo 3D, verificando que no existiera desfasaje entre las profundidades de estos dos datos. Como se describió anteriormente los dos horizontes estratigráficos principales son Molles y Lajas; adicionalmente se subdivide en capas geológicamente proporcionales al tope de cada yacimiento, para generar una mayor definición vertical al modelo estratigráfico. Por otro lado, las fallas se ajustan y se verifican en la continuidad y tendencia de los respectivos horizontes sísmicos suministrados.

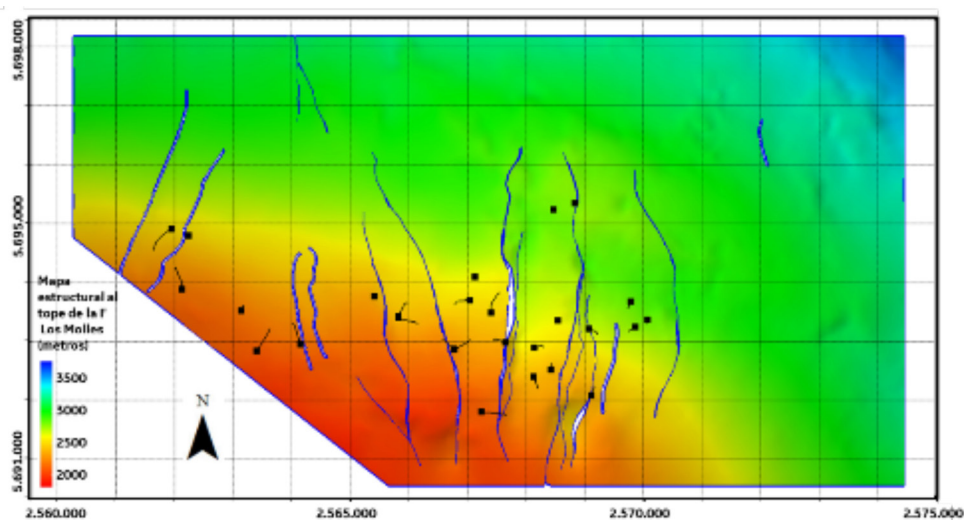


Figura 4. Mapa base al tope de Fm. Los Molles.

Una vez validada la información estructural y estratigráfica, el sistema avanzado de interconectividad entre celdas del *software* utilizado crea un modelo geológico que honra tanto el marco estructural como la definición vertical completamente, incluyendo las características geológicas de las fallas que delimitan y las superficies de cada yacimiento de interés.

Finalmente, el 3D Grid (o malla geológica) generado contiene tamaños de celda fija (I, J) de 25 x 25 mts. y una definición vertical en cada yacimiento de 5 m. (K) lo que corresponde a la X, Y, y Z en el espacio 3D lo cual ayuda a mantener la ortogonalidad.

Distribución de Propiedades 3D

Una vez definida la malla 3D se procede a realizar un exhaustivo *upscaling* de los registros de entrada (ver Figura 5) que se necesitan para el modelado y distribución de propiedades. El proceso de *upscaling* se basó en una distribución vertical cada 1m y conservar la heterogeneidad vertical del registro hacia la malla 3D.

En la distribución de propiedades se utilizaron como parámetro de tendencia los registros de pozos y los métodos estocásticos de interpolación (SGS) *Sequential Gaussian Simulation*, ya que simula variables continuas. La idea básica de la simulación estocástica es realizar una transformación normal puntual de los datos originales y selecciona al azar un nodo para estimar la función de distribución local de probabilidad condicional a los residuos en el nodo seleccionado para dar una mejor representación de la variabilidad natural de las propiedades (Densidad, DT, UCS, GR, Vsh) y cuantificar la incertidumbre en el modelo geológico. Para la interpolación de los datos discretos y continuos en la malla geológica se generan variogramas de acuerdo con la representación de la varianza de los datos petrofísicos, permitiendo analizarlos en las tres direcciones (Variograma direccional): mayores, menores y verticales. Al analizar el comportamiento variable de las propiedades heterogéneas en la zona de Los Molles y Lajas, el variograma refleja la influencia de los datos a diferentes distancias compuestos por ambientes direccionales que son detectables.

Finalmente, en el método SGS es utilizado el *kriging* como método de estimación tanto de la media y como de la desviación estándar de la variable en cada nodo de la malla como una variable aleatoria después de una distribución normal. Esta metodología se utiliza para generar la distribución del DT (y los otros registros petrofísicos) y luego simula la distribución del UCS condicionado a distribución del DT, asumiendo la relación entre los dos. El UCS es computado según las siguientes relaciones, (modificadas de un *software* comercial, utilizado para la optimización de trépanos) y utilizando un volumen de *shale*:

$$UCS_{areniscas} = 1,2 * \left(\frac{1000}{1,6 * DT} \right)^4 + 60,5 * \left(\frac{1000}{1,6 * DT} \right)^2$$

$$UCS_{shale} = 1,2 * \left(\frac{1000}{1,7 * DT} \right)^4 + 60,5 * \left(\frac{1000}{1,7 * DT} \right)^2$$

Siendo:

DT: tiempo de tránsito compresional (us/ft)

UCS: resistencia de la roca a la compresión no confinada (psi)

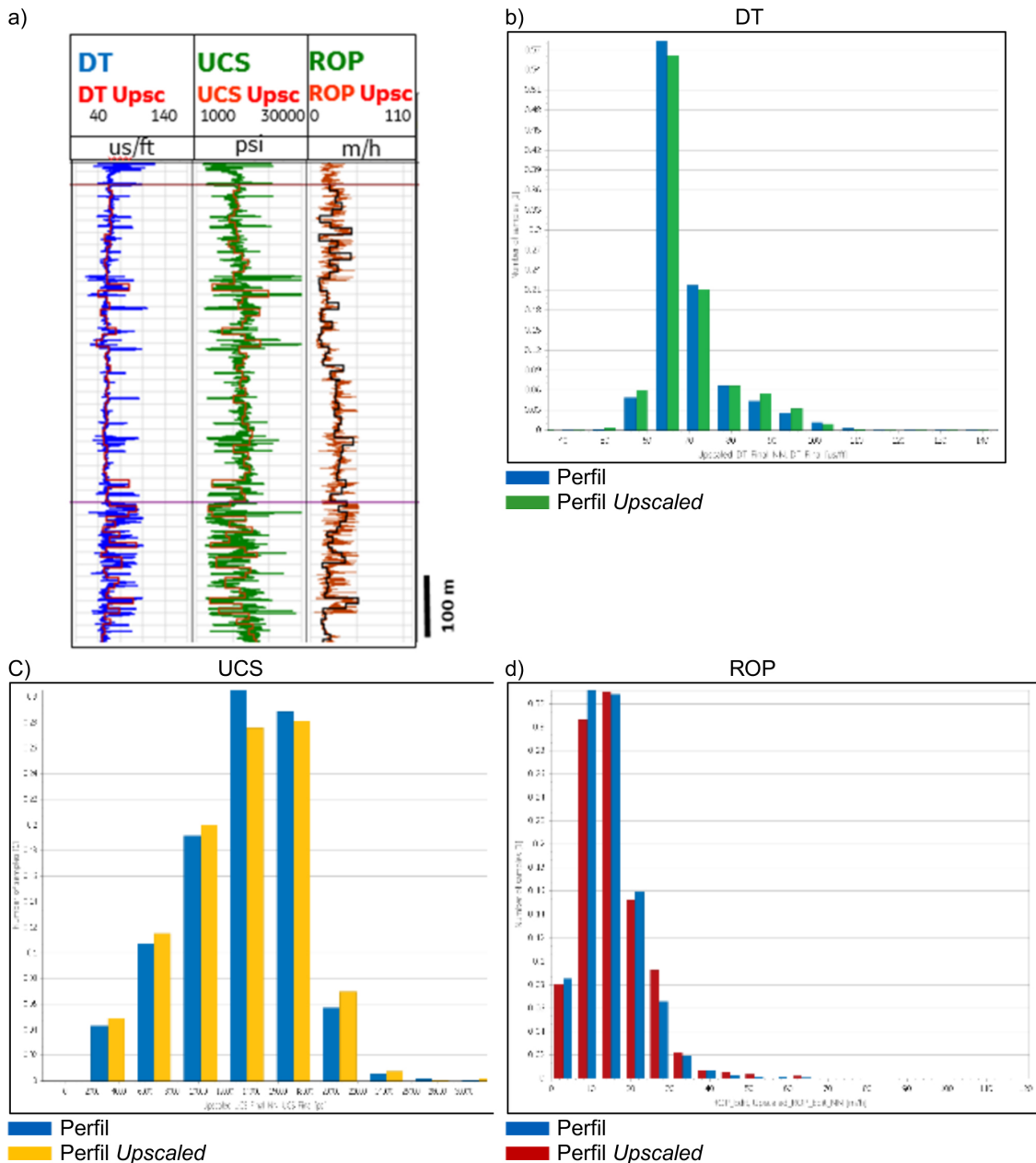


Figura 5. *Upscaling* de los registros e histogramas de control de calidad. Observar el buen ajuste entre los bins del perfil original y el perfil *upscaled*).

Debe mencionarse que el UCS no han sido calibrados con ensayos de laboratorio, debiendo tomarse sus valores absolutos como aproximaciones. Sin embargo, el objetivo de este estudio es analizar variaciones y tendencias en el UCS dentro del bloque.

En la Figura 5a se comparan las curvas versus las curvas bloqueadas para DT, ROP y UCS, en las figuras 5b, 5c y 5d se realiza una comparación similar mediante histogramas, para evaluar que no se produzca un cambio significativo en los datos durante el proceso de *upscaling*.

Idénticos histogramas a los mostrados en la Figura 5 son utilizados como control de calidad, comparando los registros de los pozos *upscaled* a la grilla (en la posición del sondeo). El buen ajuste entre ambos muestra que se han honrado los datos durante el proceso de grillado.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La Figura 6 compara los mapas obtenidos para los tiempos de tránsito compresionales para las formaciones Lajas y Los Molles. En el mismo se dibujó una línea que indica el límite de la barda, encontrándose hacia el norte de la misma, un ambiente de meseta y hacia el sur el valle del río Limay. Esta línea se repite en los mapas subsiguientes.

Se observa una tendencia hacia el sur de esta línea a tiempos de transito más largos (indicando rocas de menor resistencia mecánica) y hacia el norte, tiempos de transito más corto, especialmente en el sector central del área analizada.

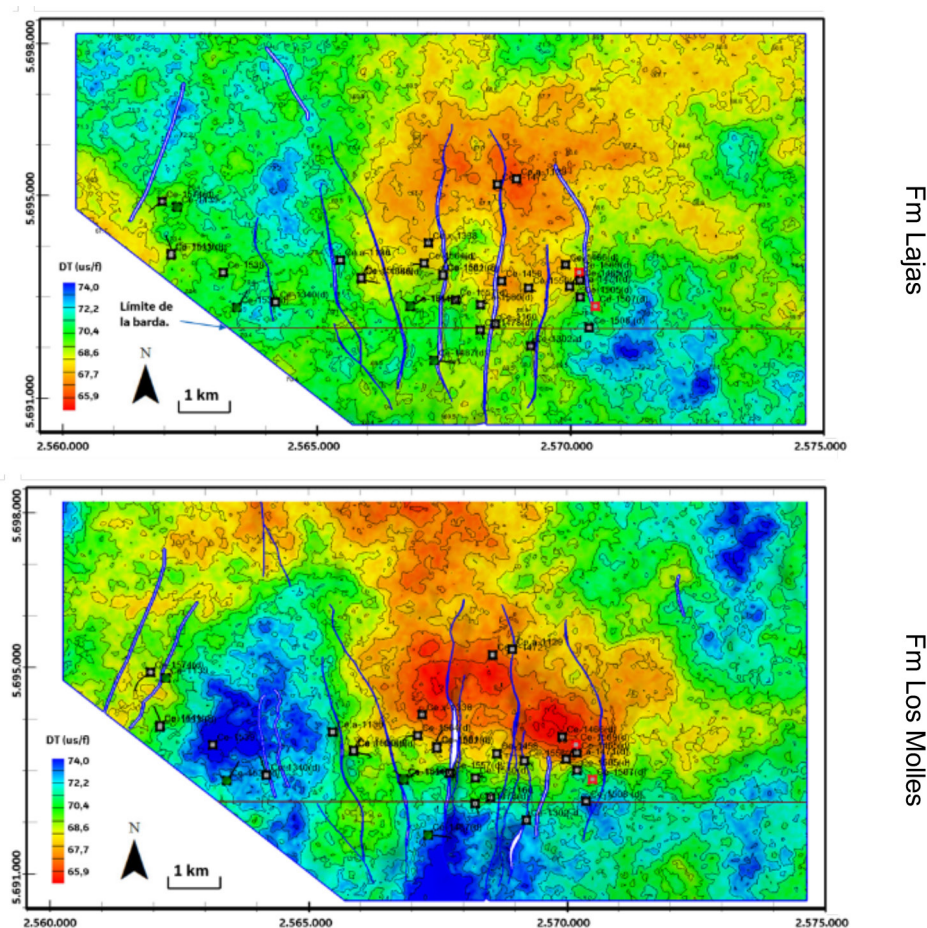


Figura 6. Mapas obtenidos para DT (tiempo de tránsito compresional) para las formaciones Lajas y Los Molles.

Debido al que el UCS es computado a partir del perfil sónico, este, al ser mapeado (Figura 7), replica un comportamiento similar al tiempo de tránsito compresional. Los valores de UCS computados, los cuales no han sido calibrados con ensayos de laboratorio, indican que las rocas analizadas presentan una alta resistencia a la compresión (areniscas *tight* y lutitas).

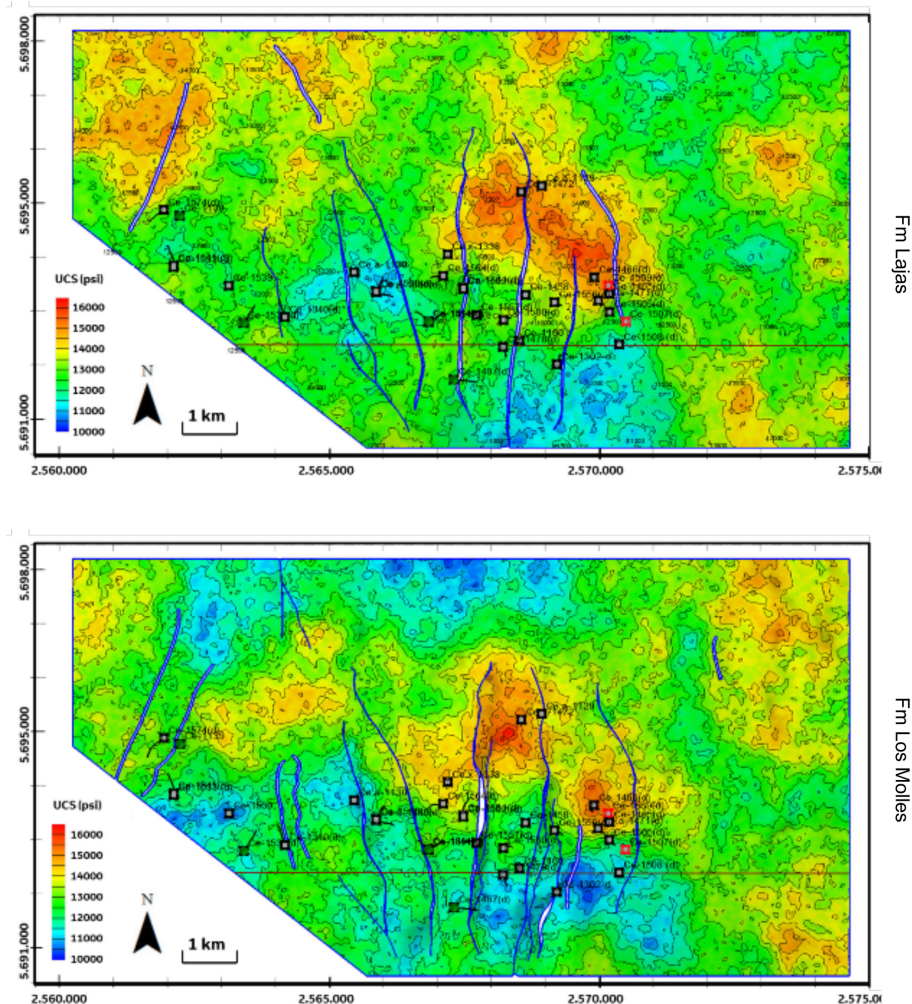


Figura 7. Mapas obtenidos para UCS (resistencia de la roca a la compresión no confinada) para las formaciones Lajas y Los Molles.

En la Figura 8 se observan los resultados de mapear la tasa de penetración (ROP), donde puede observarse un comportamiento coherente con el UCS; mostrando una menor tasa de avance hacia la zona más resistente (al norte de la línea del límite de barda).

En la Fm. Lajas el ROP oscila entre valores de 10 y 55 m/h y en la Fm. Los Molles entre 10 y 34 m/h.

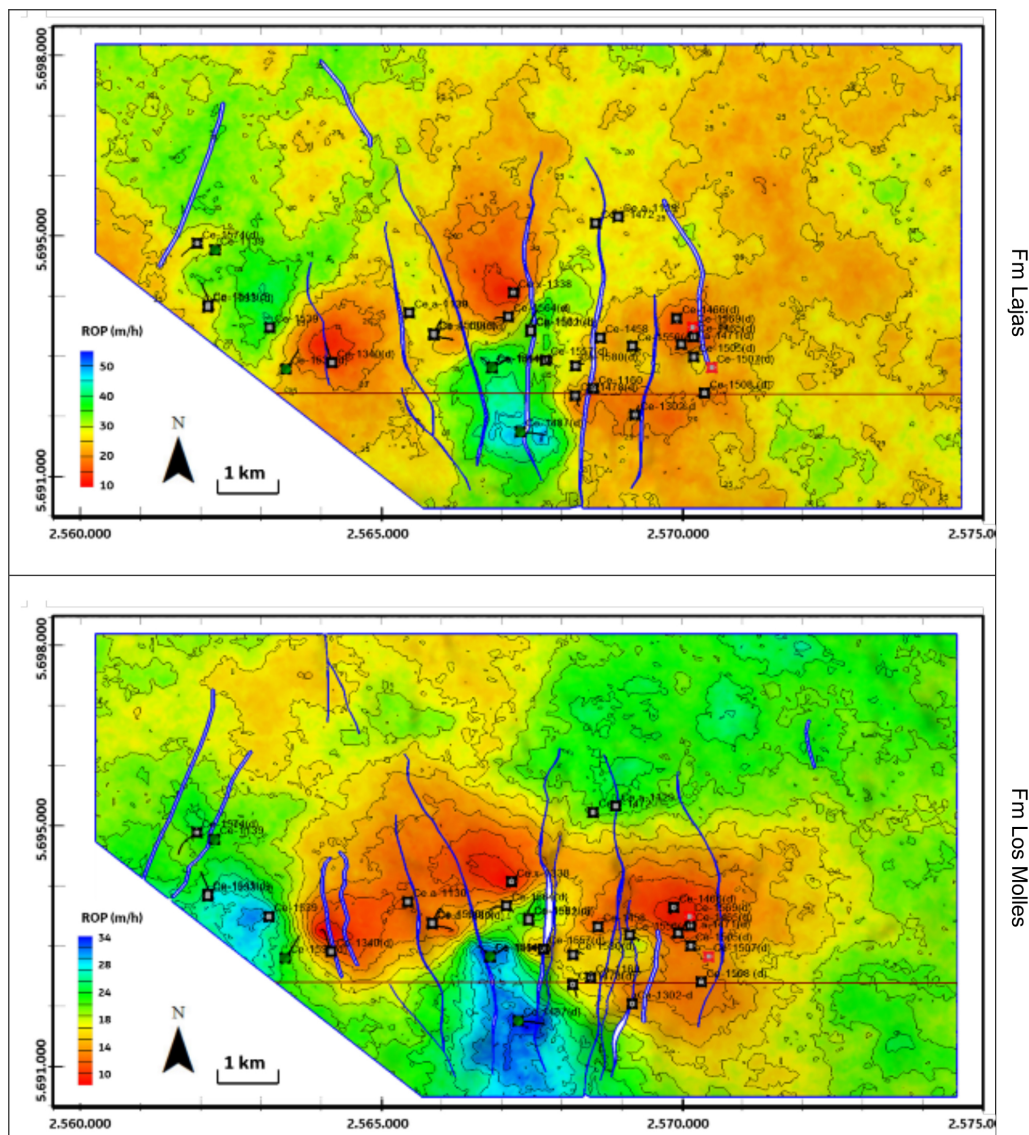


Figura 8. Mapas obtenidos para ROP (tasa de penetración) para las formaciones Lajas y Los Molles.

ROP y UCS son comparados en la Figura 9 mediante un corte estructural con dirección SO-NE. En el mismo se evidencia la correlación aceptable entre ambos parámetros, lo cual significa que la disminución de la tasa de penetración es debida al aumento en la resistencia de la roca, tendiendo esta última en líneas generales hacia un aumento hacia el NE, lo cual es acompañado por menores tasas de penetración.

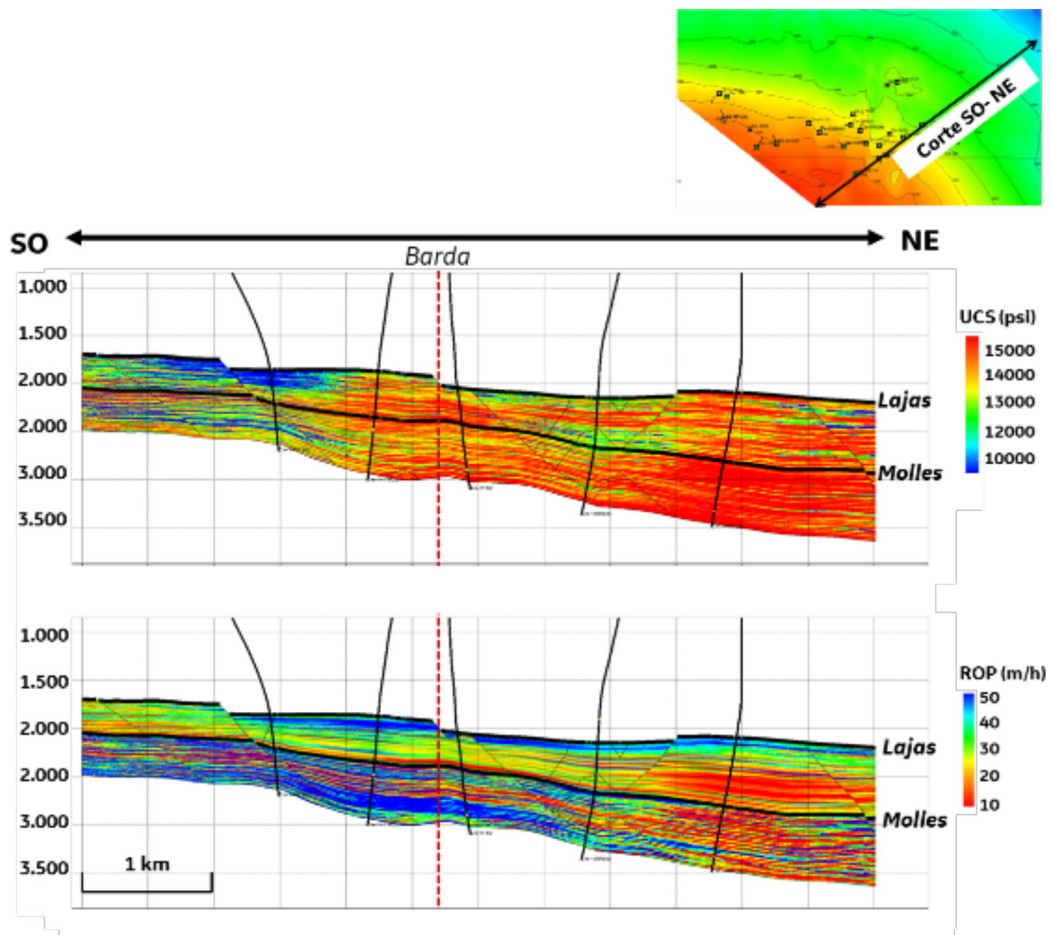


Figura 9. Corte estructural con dirección SO-NE comparando la resistencia de la roca (UCS) con la tasa de penetración (ROP).

Para perforar las formaciones de interés en este yacimiento, donde tradicionalmente se había utilizado diámetros de 8,5 *inch*, se utilizarían diámetros de 6.125 *inch*. A partir de los grillados se extrajeron perfiles sintéticos para las variables analizadas.

La Figura 10 muestra los datos de ROP y DT simulados, con los datos medidos registrados en el pozo. Cabe mencionar que este sondeo se ubica en una zona relativamente dura, por lo cual se utilizó un trepano PDC de seis aletas, en lugar de cinco, como estaba planeado. Puede observarse visualmente un ajuste aceptable entre las variables simuladas a partir del modelo y las variables medidas luego de perforar el pozo propuesto.

Si bien lugar de ROP, hubiera resultado más apropiado calcular y utilizar la energía mecánica específica (MSE), se optó por utilizar el ROP, ya que representa un dato crudo, sin proceso alguno. Resta la investigación de la estimación de parámetros geomecánicos a partir de la MSE (VanderKooi 2017 y Ouenes *et al.* 2019) para futuros estudios.

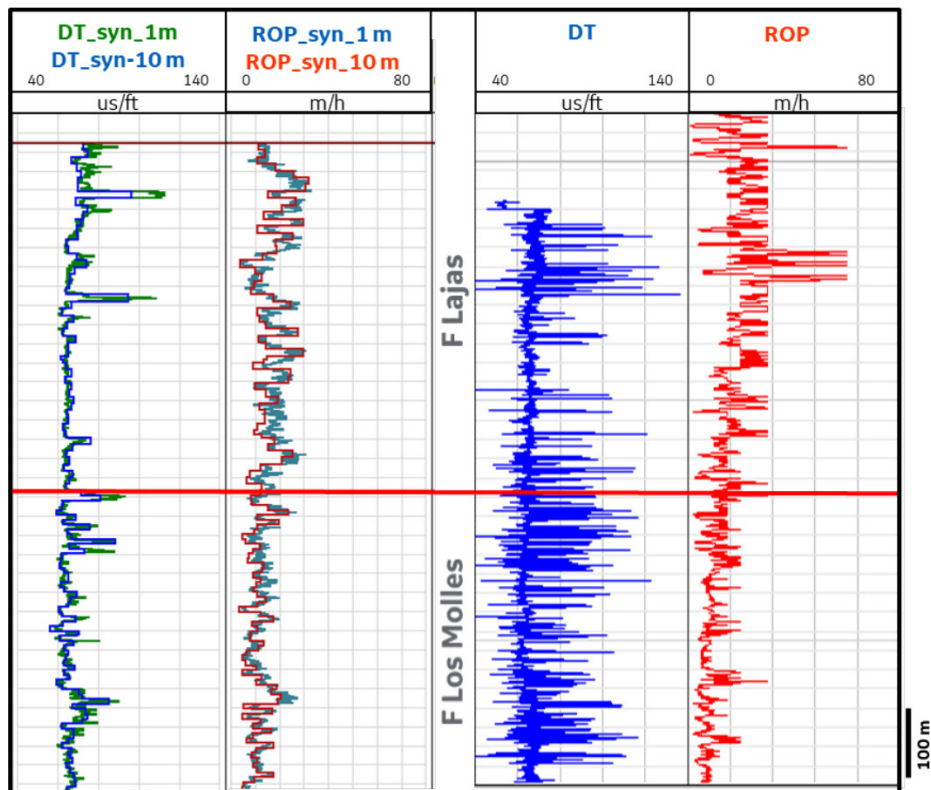


Figura 10. DT y ROP simulados para una nueva locación (primer y segundo *track*) versus DT y ROP medidos (cuarto y quinto *track*).

CONCLUSIONES

- El cálculo de UCS (resistencia de la roca a la compresión no confinada) es estimada en 25 pozos del yacimiento Centenario, para las formaciones Lajas y Los Molles, utilizando ecuaciones empíricas y volúmenes de arcilla suministrados por Pluspetrol.
- Paralelamente el ROP (tasa de penetración) es mapeada en los mismos sondeos.
- A pesar de que, *a priori*, se consideraba que el ROP de diferentes pozos no sería comparable, debido a ser perforados en diferentes épocas, con diferentes tecnologías y por diferentes compañías, se observa visualmente, comparando mapas y cortes estructurales, un grado de correlación aceptable entre el UCS y ROP. Este hecho permite concluir que en la tasa de penetración está relacionada a una mayor resistencia de la roca (UCS).
- Se observa una tendencia incremental de la resistencia de la roca que coincide en líneas generales con el límite de la barda (límite que separa el valle del río Neuquén con la meseta), observándose una tendencia hacia el norte de dicho límite a disminuir los valores de ROP, incrementándose los valores de resistencia de la roca.

- Una vez realizado el grillado, se obtienen perfiles sintéticos, para planificar la perforación de nuevos pozos, lo cual hace predictivo el modelo elaborado. Los mismos muestran una correlación aceptable con los datos obtenidos luego de la perforación de los pozos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las compañías PLUSPETROL S.A., por permitir la publicación de este trabajo.

Un especial agradecimiento al Doctor José Gildardo Osorio, por su lectura crítica del texto y valiosos aportes al mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Dupriest, F., Koederitz, W. (2005). Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy. SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands, February 2005. Paper Number: SPE-92194-MS. <https://doi.org/10.2118/92194-MS>
- Gomez Omil, R., Schmithalter, J., Cangini, A., Albariño, M. y Corsi, A. (2002). El Grupo Cuyo en la Dorsal de Huincul, consideraciones estratigráficas, tectónicas y petroleras. Cuenca Neuquina. https://www.researchgate.net/publication/324950139_El_Grupo_Cuyo_en_la_Dorsal_de_Huincul_consideraciones_estratigraficas_tectonicas_y_petroleras_Cuenca_Neuquina
- Ouenes, A., Paryani, M., Aimene, Y., Hammerquist, C. and Bachir, A. (2019). Surface Drilling Data for Constrained Hydraulic Fracturing and Fast Reservoir Simulation of Unconventional Wells. DOI: 10.5772/intechopen.84759
- VanderKooi, J. (2017). Utilizing Measured Drilling Parameters to Optimize Completions Design. Adapted from oral presentation given at 2017 AAPG DPA Mid-Continent Playmakers Forum, Oklahoma City, Oklahoma, May 11, 2017. Search and Discovery Article #42162
- Zoback, M. (2008). "Reservoir Geomechanics". Cambridge University Press.

