

“NUEVAS OPORTUNIDADES EN ÁREAS MADURAS: RESERVORIOS PROFUNDOS EN DESFILADERO BAYO”. Yacimiento Desfiladero Bayo, Cuenca Neuquina

Autores: Fernando Mora*, Sergio Koch*, Gisela Ballester*, Silvia Espinach*, Daniel Varas*

*YPF SA/Desarrollo/Regional Mendoza/Coordinación Mendoza Sur

Sinopsis

En el yacimiento Desfiladero Bayo, desde la perforación del DB.x-2, pozo descubridor de la Formación Huitrín, el enfoque de desarrollo ha sido dirigido a los reservorios más someros. Desde Agrio Superior, pasando por el Troncoso Inferior de Huitrín, hasta el Rayoso en sus facies clásticas, han sido objeto de un vasto desarrollo, que junto con la secundaria y un piloto de terciaria lo catalogan como yacimiento maduro, con más de 400 pozos perforados.

En el activo Desfiladero Bayo, los reservorios profundos han sido atravesados por cerca de 20 sondeos a lo largo de sus casi 380 km², pero debido al enfoque del momento no ha sido probada ni descartada su productividad. Aun así, contamos con descripciones por control geológico, perfiles eléctricos y se han evidenciado rastros frescos y secos en algunos pozos. Con estas premisas, se comenzó una visualización basada en la reinterpretación de la sísmica 3D presente y la revisión de las características encontradas tanto en los pozos del área como de las áreas aledañas (Narambuena, Puesto Hernández, Aguada Bocarey, etc.) que pudieran llevarnos a una identificación de facies y una correlación entre lo interpretado en la sísmica y lo visto en el perfil. A partir de esa información, se armó un modelo conceptual geológico-geofísico concordante con el marco regional y la interpretación en áreas aledañas, y se completó con una simulación probabilística para estimar el tamaño de la oportunidad.

Una estrategia de desarrollo más agresiva le sirvió de impulso a este estudio, y se profundizaron dos pozos de desarrollo hasta la Fm. Barda Negra en zonas de alto interés geológico, lo que nos permitió confirmar la conceptualización y la presencia del sistema petrolífero planteado. También se perforó un pozo de avanzada cuyos objetivos principales fueron los reservorios profundos. Los proyectos de este tipo, si bien están inmersos en un alto riesgo geológico, buscan revitalizar yacimientos maduros, con una oportunidad de negocio atractiva que genera grandes expectativas a nivel regional.

Introducción

Con frecuencia se suele asociar la alta madurez que tienen muchos reservorios con un pobre potencial remanente de los campos y una escasa o nula actividad a futuro. Es común confundir la larga historia de los yacimientos con su madurez.

De acuerdo con las distintas definiciones sobre el concepto de campos maduros, podemos afirmar que los reservorios de nuestro país son maduros, lo que no implica que un campo de estas características carezca de potencial. Es frecuente encontrar yacimientos considerados maduros que muestran un incremento de su actividad y producción a partir de la aplicación de nuevas tecnologías o por el desarrollo de nuevos sectores y/o unidades formacionales dentro de la columna estratigráfica que, por diversos motivos, se habían dejado al margen de la explotación original.

El proyecto se basa en la metodología de trabajo utilizada para estimar el valor de la oportunidad en reservorios profundos en el yacimiento Desfiladero Bayo. El estudio se centró en la Formación Tordillo, para lo cual se realizó una revisión del área y se detectaron 18 pozos que alcanzaron o atravesaron esa formación y sin embargo en la gran mayoría de ellos este tramo no fue entubado ni probado.

Debido a la incertidumbre en los parámetros del reservorio, se recurre al cálculo probabilístico para estimar un OOIP y el caudal de producción de los pozos, para cuyo análisis se utilizó el árbol de decisión. Sobre la base de esta oportunidad se determinaron los pozos a profundizar y perforar y los desarrollos asociados a ellos.

Desarrollo

Ubicación geográfica

El área de reservas Desfiladero Bayo pertenece al bloque de concesión de explotación Chihuido de la Sierra Negra y está conformado por los yacimientos Desfiladero Bayo (DB), Desfiladero Bayo Este (DBE), Avutarda (Avt), Narambuena (N) y El Paisano (EPa).

En las siguientes figuras se muestra la ubicación geográfica del área de reservas Desfiladero Bayo:

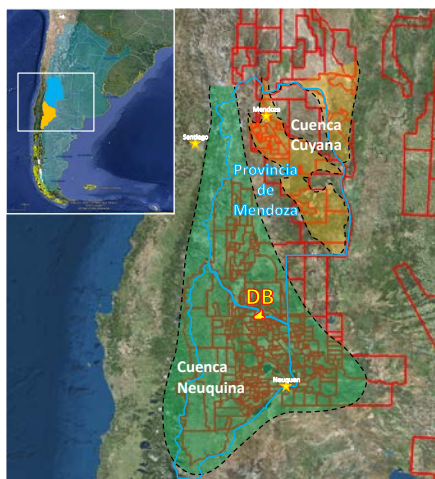


Figura 1. Ubicación geográfica

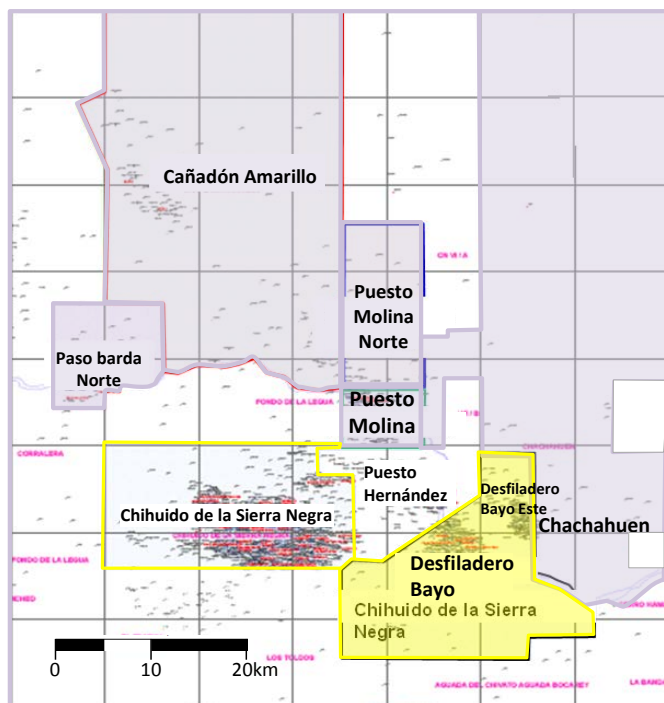


Figura 2. Ubicación física del activo Desfiladero Bayo

Antecedentes

Desfiladero Bayo es un yacimiento maduro productor de petróleo. Fue descubierto en 1972 y su desarrollo comenzó en 1983, atravesando las diferentes etapas, como se puede visualizar en la siguiente figura:



Figura 3. Historia de producción de Desfiladero Bayo

En 1983 comienza el desarrollo de primaria del campo y en noviembre de 1987 se inicia un piloto de inyección de agua, el cual se masifica en 1995 extendiéndose arealmente a la totalidad del yacimiento. En 2009 surge un proyecto integral de desarrollo que consiste en la perforación de pozos infill, workovers y optimización de la secundaria con el objetivo de incrementar el factor de recobro del área.

En la actualidad se visualiza un piloto de polímero con el objetivo de mejorar la eficiencia de barrido y por ende aumentar el factor de recobro.

La producción del área está asociada principalmente a reservorios someros (Fm. Rayoso, Fm. Huitrín, Fm. Agrio y Fm. Mulichinco) y los pozos perforados alcanzan una profundidad promedio de 1100 mbbp. Su principal mecanismo de producción es por recuperación secundaria.

Columna estratigráfica

La estratigrafía tipo en este sector de la cuenca se visualiza en la próxima figura. La roca madre está conformada por la Fm. Vaca Muerta. Los principales niveles portadores de hidrocarburos son la Fm. Rayoso, la Fm. Huitrín (Mb. Troncoso Inferior) y la Fm. Agrio (Mb. Superior). La Fm. Mulichinco y el Mb. La Tosca constituyen objetivos secundarios.

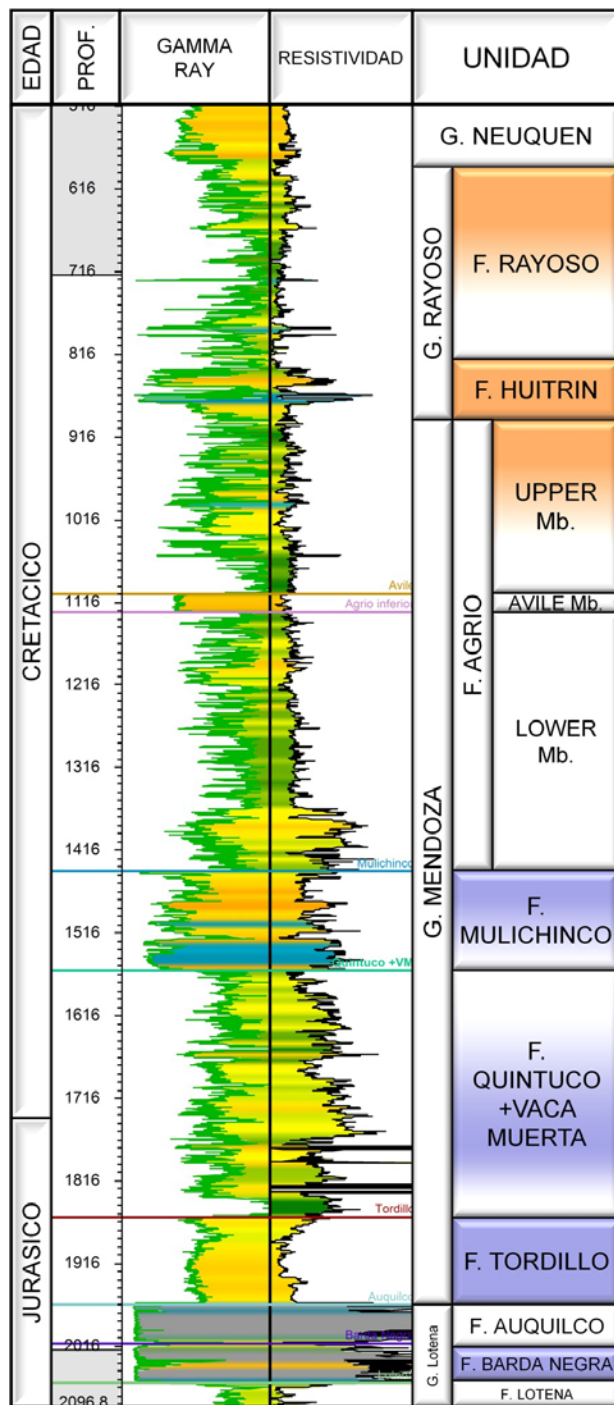


Figura 4. Columna estratigráfica de la zona; en naranja los reservorios tradicionales (someros) y en violeta, los profundos

La Formación Tordillo cuenta en este punto de control con una potencia de 110 m, totalmente integrados por sedimentitas clásticas. La sucesión vertical presenta variaciones granulométricas que van desde conglomerados en la base hasta areniscas medianas y finas hacia el techo, relacionadas entre sí de manera transicional.

Constituye el primer evento sedimentario posterior a los movimientos intraméricos y marca el inicio del ciclo andino. No obstante, se diferencian sobre la base de variaciones granulométricas, colorimétricas y de estructuras sedimentarias, tres secciones relacionadas verticalmente de manera transicional:

- El tramo basal está conformado por 30 metros de conglomerados rosados, polimíticos, compuestos por fragmentos líticos, cuarzo y feldespato. No presentó manifestación de hidrocarburos durante la perforación, en tanto que las condiciones petrofísicas y de saturación deducidas de los registros eléctricos resultaron desalentadoras.
- Continúan 41 metros de areniscas rosadas, medianas a conglomerádicas, subangulosas, de regular selección, y composición similar a los conglomerados descriptos; guardan una clara relación de transición con el tramo infrayacente. Durante la perforación, sólo se observaron rastros de hidrocarburos secos, en un contexto de capas caracterizadas por su escasa porosidad y saturaciones de agua superiores a los valores considerados críticos.
- Por último, la sección superior cuenta con 29 m de potencia y está compuesta de areniscas grises verdosas, finas a medianas, con abundante matriz arcillosa. La transición con los niveles infrayacentes es notoria en cuanto al cambio de coloración de los sedimentos. Sin embargo, en lo que respecta a la granulometría, y en particular a las estructuras sedimentarias, tal situación no resulta muy clara si no es enfocada con un criterio de asociación de facies.

Justificación geológica

El estudio del presente proyecto se centró en la Fm. Tordillo, para lo cual se realizó una nueva revisión completa de la sísmica, generando mapas de tendencias estructurales y de espesores en tiempo, donde se puede observar que los mayores espesores están asociados a la presencia de fallas entre los yacimientos DB y DBE. El cambio marcado de espesores a uno y otro lado de las fallas indica que éstas estuvieron activas durante la deposición de la Formación Tordillo.

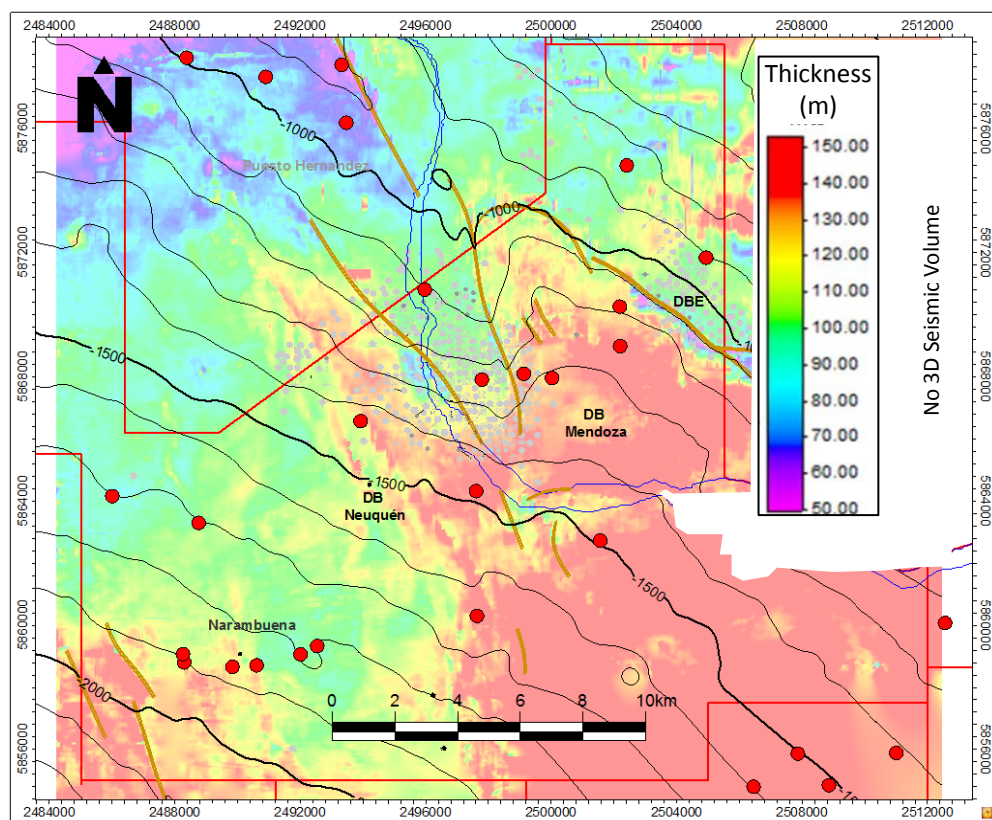


Figura 5. Mapa cronosopáquico (colores). Superpuestas se muestran las curvas del isócrono de Tordillo. En rojo se muestran los pozos que llegan a la Formación Tordillo. En celeste, los pozos de avanzada profundos

En el cubo sísmico rdlis_merge se observan una serie de geoformas que se corresponden con un pequeño campo de dunas en el tope de la Fm. Tordillo (ver imágenes siguientes). Estas geoformas interpretadas se asocian a facies eólicas y concuerdan con la interpretación de facies observada tanto en la litología del control geológico como en perfiles de pozo (ver pozo tipo DB.xp-45).

En el activo Desfiladero Bayo, los reservorios profundos han sido atravesados por cerca de 20 sondeos, pero debido al enfoque del momento no ha sido probada ni descartada su productividad. Aun así, contamos con descripciones por control geológico, perfiles eléctricos, y se han evidenciado rastros frescos y secos en algunos pozos. Basados en estos datos, sumado a información de las áreas aledañas y una sísmica 3D, se encaró un proyecto de visualización con enfoque en los reservorios profundos a aproximadamente 2000 mbbp.

Sobre la base de esto, en primer lugar, se planteó la profundización de dos pozos para investigar la Fm. Tordillo (originalmente con objetivos someros), los cuales se ubican en distintos bloques separados por una de las fallas más importantes del área, como se observa en el mapa. El pozo #2 se encuentra en un bloque bajo, pero donde se registran los mayores espesores (140 metros), y el pozo #1 se halla en un bloque con menor espesor (100 metros), pero estructuralmente más alto y posiblemente fracturado naturalmente, ya que se encuentra dentro del anticlinal de DB.

En segundo lugar, surge la perforación de un pozo de avanzada pozo #3, ubicado en la zona de mayor prospectividad de Tordillo, cuyo objetivo principal es esa formación. Esta nueva oportunidad está basada en la continuidad del estudio de visualización de reservorios profundos en el área Desfiladero Bayo.

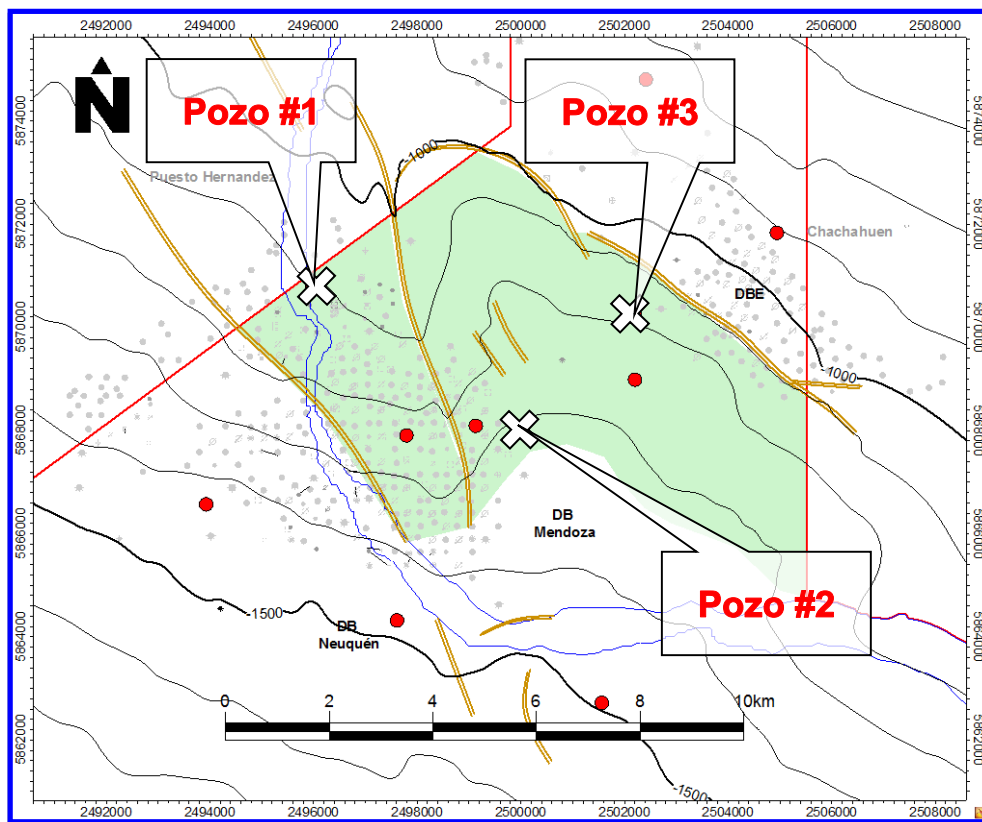


Figura 6. Mapa isócrono de Tordillo. Como cruces se muestran los pozos planteados para obtener información

Para determinar el riesgo geológico asociado a este proyecto, se consideró un entrapamiento estratigráfico y estructural de facies eólicas/fluviales contra las fallas principales interpretadas en sísmica. La depositación está condicionada por el espacio de acomodación generado por el hundimiento de bloques, evidenciado por la diferencia de espesor a un lado y otro de las fallas principales.

El resto del sistema petrolero es el mismo probado en los reservorios someros del área, por lo que la chance de éxito geológico tiene como punto clave el comportamiento y la calidad del reservorio, y como secundario, el carácter sellante de las fallas, lo que se refleja en la tabla P. Rose (Pg).

Geologic Chance of Occurrence:	Ratings (0-1)	Key Attributes / Issues:
SOURCE FACTORS		
QUANTITY / VOLUME	1.00	Buena Roca Madre, comprobada a lo largo de toda la columna estratigrafica.
QUALITY / RICHNESS	1.00	
MATURATION	1.00	
KEY FACTOR	1.00	
TIMING/MIGRATION/PRESERVATION FACTORS		
TIMING OF CLOSURE	1.00	Reservorio productivo en Yacimiento Cañadon Amarillo. La presencia de al menos rastros secos en Tordillo en pozos cercanos asegura la migracion. Presencia comprobada en Narambuena.
TIMING OF EXPULSION	1.00	
EFFECTIVE MIGRATION FAIRWAY	1.00	
PRESERVATION	1.00	
KEY FACTOR	1.00	
RESERVOIR FACTORS		
PRESENCE	1.00	Se comprueba presencia de reservorio en los pozos que atraviesan la formacion. La calidad del reservorio eolico/ fluvial es buena pero existen dudas en cuanto al rendimiento efectivo.
QUALITY	0.70	
RESERVOIR PERFORMANCE	0.50	
KEY FACTOR	0.50	
TRAP GEOMETRY (CLOSURE) FACTORS		
MAP RELIABILITY & CONTROL	1.00	Se mapeo la trampa con la interpretacion sismica y se tiene una gran certeza.
Trap Model Confidence	1.00	
KEY FACTOR	1.00	
SEAL FACTORS		
TOP SEAL	0.70	Se tiene cierta incertidumbre sobre la extension vertical y el carácter sellante de las fallas.
LATERAL SEAL	0.70	
BASE SEAL	1.00	
KEY FACTOR	0.70	
GEOLOGIC CHANCE "Pg"	0.35	Keyrisk - Reservoir

Figura 7. Tabla de evaluación de riesgos

En el mapa se observan los pozos profundos del área (resaltados en rojo) que atravesaron Tordillo con su respectiva condición (sin aporte, no prueba, sin entubar o fluido ensayado). Se incluyeron también los pozos de los yacimientos cercanos, como Puesto Hernández (PH) y Chachahuen Sur (CHuS).

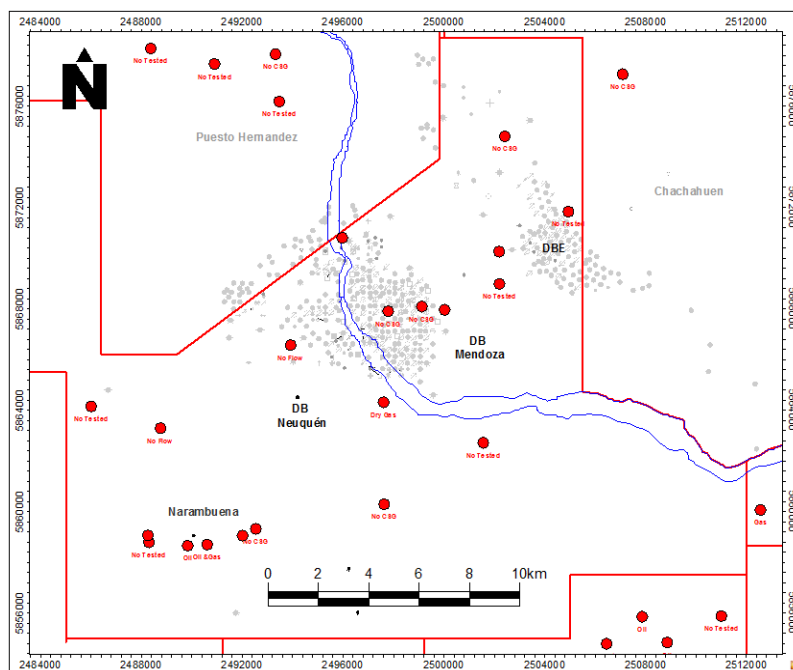


Figura 8. Ubicación de pozos profundos

Para la evaluación petrofísica surgió como principal incertidumbre la falta de ensayos de la formación en la zona. Sólo se contaba con los análisis de agua realizados en un pozo productor de Narambuena en la Fm. Tordillo y los valores de salinidad conocidos de las zonas cercanas. Esta información fue cotejada y validada y no variaba mucho con respecto a lo conocido en otros yacimientos donde es productor Tordillo.

Cálculo probabilístico

a) Estimación del OOIP

Se utiliza la metodología de análisis de riesgo para simular los posibles escenarios de la perforación de los pozos en reservorios profundos a través de los atributos inciertos que lo caracterizan.

Debido a las incertidumbres de datos de producción existentes en la Fm. Tordillo, se recurre a un tratamiento probabilístico a través de la herramienta Crystal Ball.

Sobre la base de lo expresado con anterioridad, se utiliza la Simulación de Montecarlo para determinar la distribución paramétrica que mejor se ajusta a los datos de entrada, de tal manera de obtener la distribución completa de la variable de salida que corresponde al OOIP de la Fm. Tordillo.

Los datos de entrada son:

- Área: el análisis de los datos de área revela que la distribución más adecuada para representar probabilísticamente esta variable es la distribución normal.

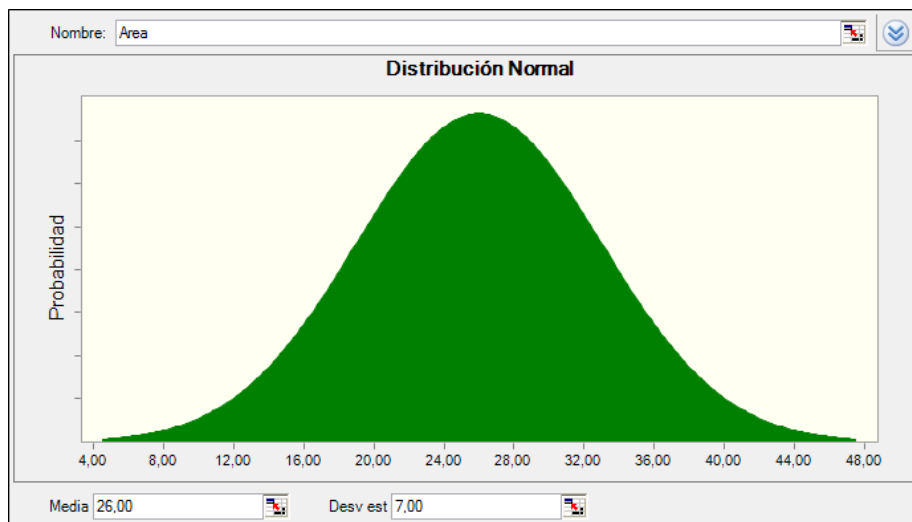


Figura 9. Los niveles de incertidumbre para el área son P(90), de 34,97 km²; P(50), de 26 km², y P(10), de 17,03 km²

- Espesor útil (Hu): el análisis de los datos de espesor útil (Hu) revela que la distribución más adecuada para representar probabilísticamente esta variable es la distribución lognormal.

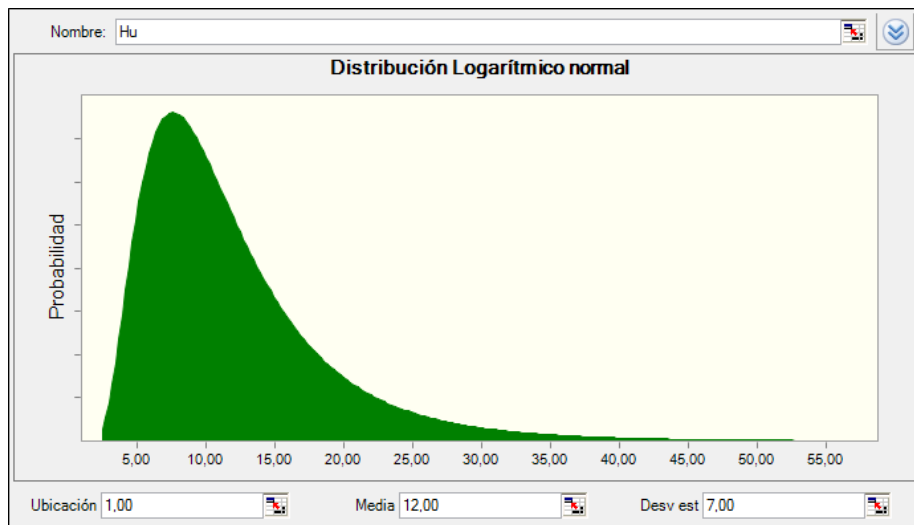


Figura 10. Los niveles de incertidumbre para el espesor útil son P(90), de 20,59 m; P(50), de 10,28 m, y P(10), de 5,40 m

- Saturación de petróleo (S_o): el análisis de los datos de saturación de petróleo (S_o) revela que la distribución más adecuada para representar probabilísticamente esta variable es la distribución lognormal.

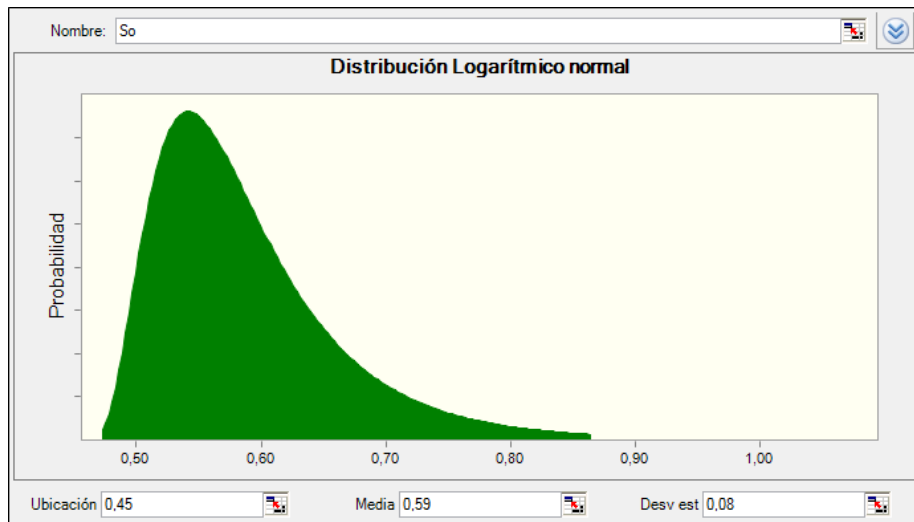


Figura 11. Los niveles de incertidumbre para la saturación de petróleo son P(90), de 0,68; P(50), de 0,57, y P(10), de 0,51

- Porosidad: el análisis de los datos de porosidad revela que la distribución más adecuada para representar probabilísticamente esta variable es la distribución lognormal.

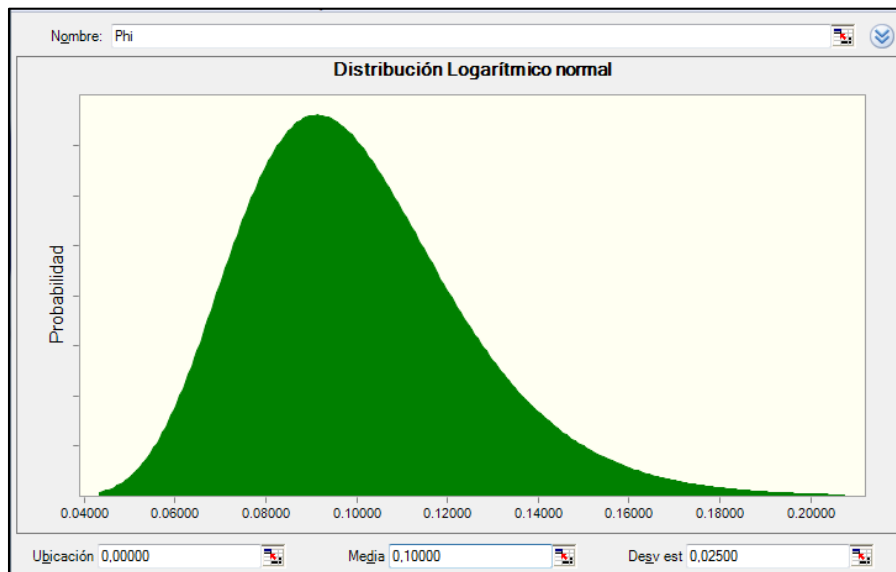


Figura 12. Los niveles de incertidumbre para la porosidad son P(90), de 0,13; P(50), de 0,10, y P(10), de 0,07

- Factor de volumen (B_o): el análisis de los datos de factor de volumen revela que la distribución más adecuada para representar probabilísticamente esta variable es la distribución uniforme.

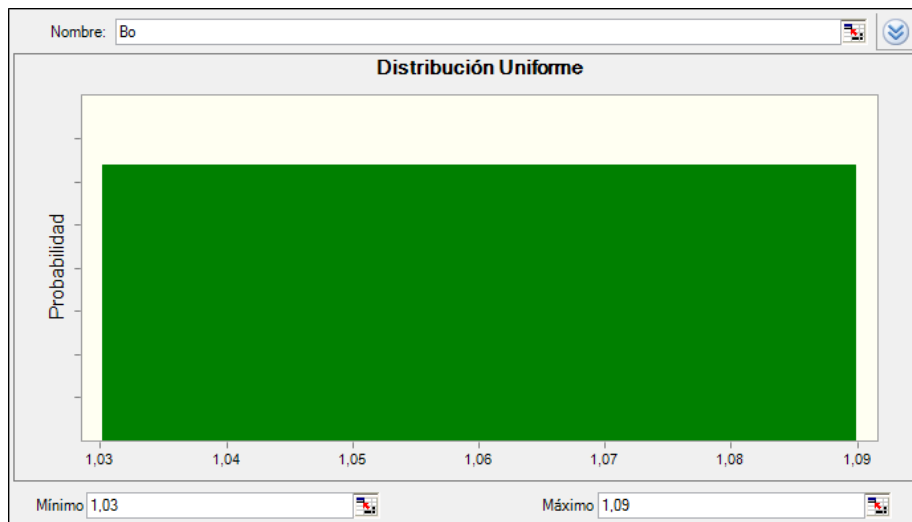


Figura 13. Los niveles de incertidumbre para el factor de volumen son P(90), de 1,08; P(50), de 1,06, y P(10), de 1,04

Una vez que obtenemos los valores de los atributos especificados, se realizan los cálculos probabilísticos del OOIP. Para ello, se llevó a cabo una prueba de ajuste de 100.000 iteraciones para determinar el valor del mismo considerándose la distribución lognormal como la más adecuada. También se puede visualizar la frecuencia acumulada del OOIP.

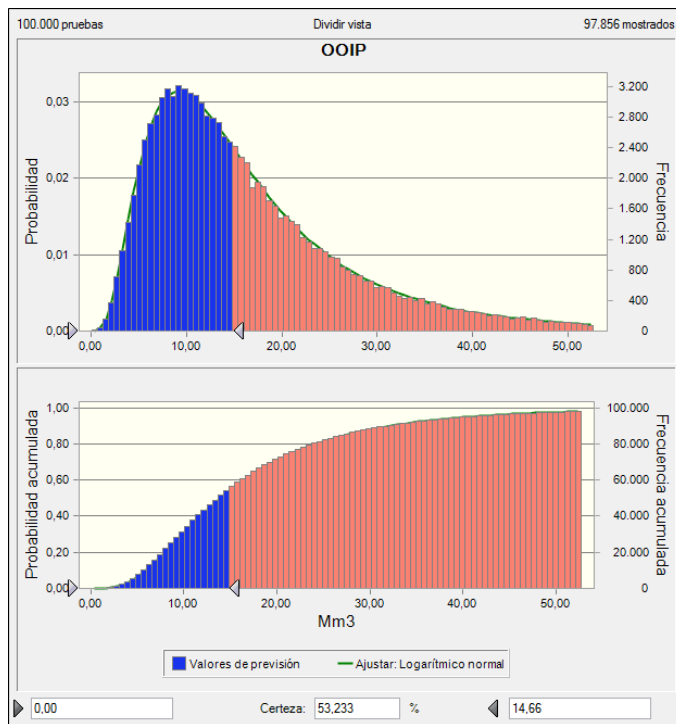


Figura 14. OOIP probabilístico

Con el OOIP y el factor de recobro, para el cual se ha considerado una distribución normal, se obtiene el petróleo recuperable:

$$PetroleoRecuperable = OOIP * FR$$

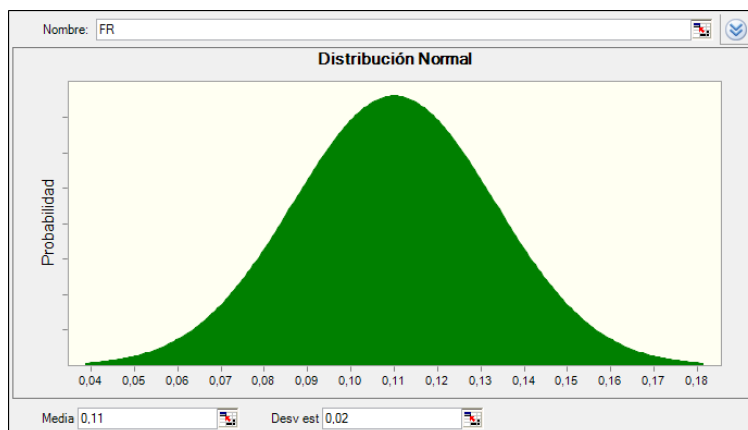


Figura 15. Los niveles de incertidumbre para el factor de recobro son P(90), de 0,05; P(50), de 0,11, y P(10), de 0,17

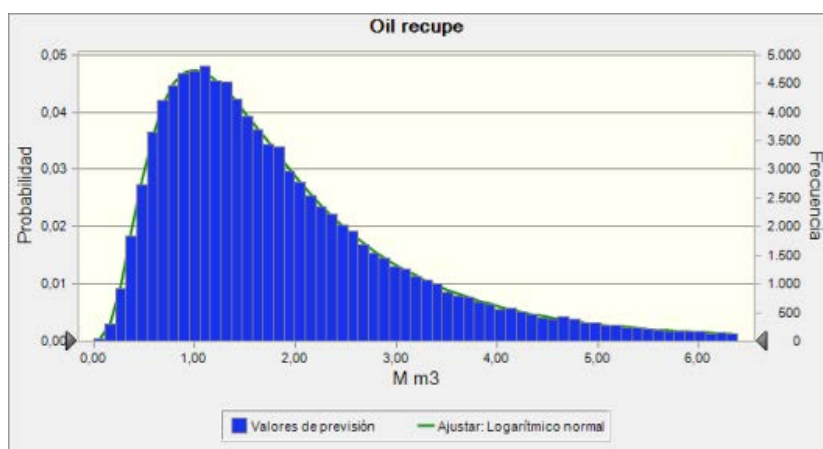


Figura 16. Petróleo recuperable probabilístico

Los niveles de incertidumbre para el factor de volumen son P(90), de 3,62; P(50), de 1,49, y P(10), de 0,61. Suponiendo un distanciamiento de 750 mts entre pozos, podemos simular las curvas para la cantidad de pozos y para la acumulada por pozo, obteniéndose:

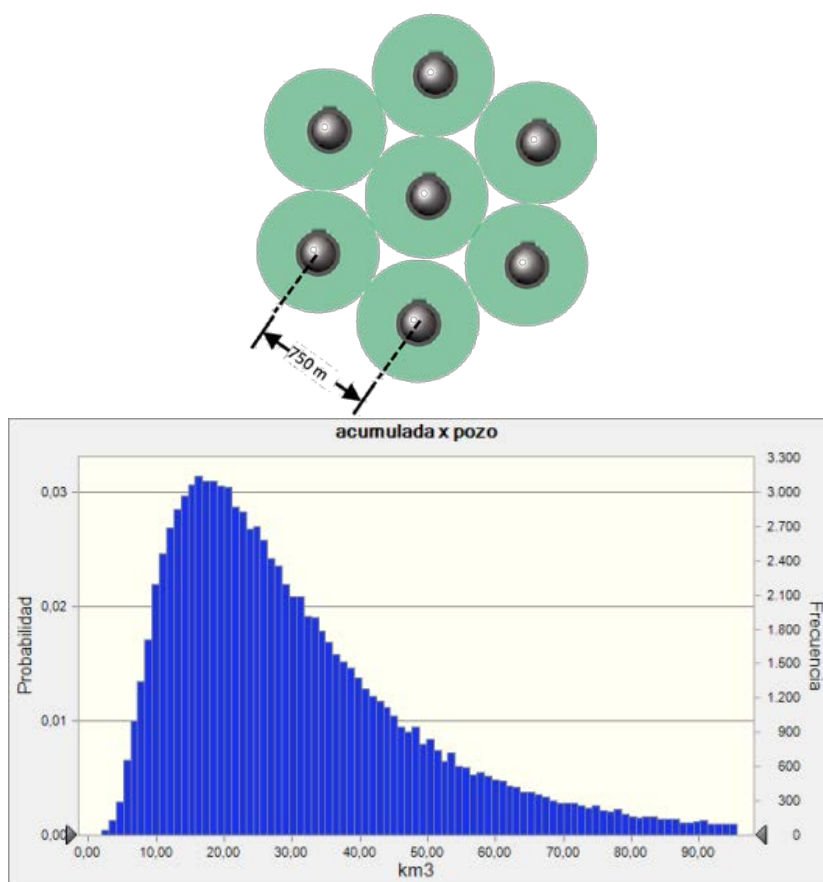


Figura 17. Petróleo recuperable probabilístico por pozo

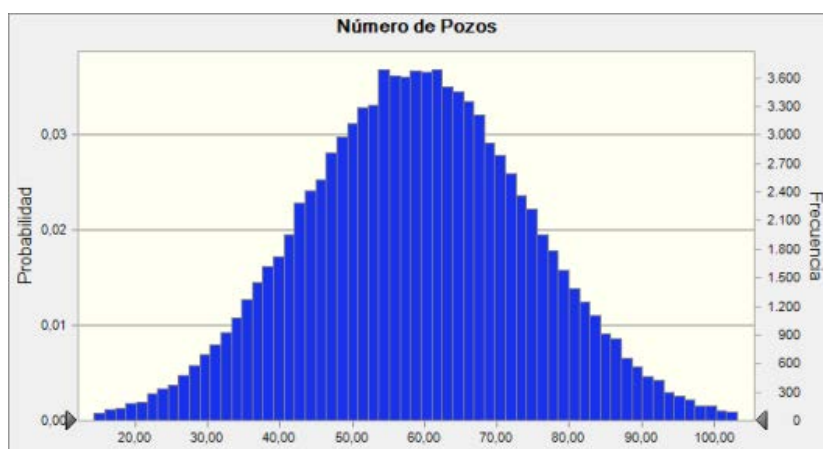


Figura 18. Distribución calculada para el número de pozos

Sobre la base de lo presentado, resumimos los valores obtenidos en la siguiente tabla:

	OOIP Mm3	Oil rec. Mm3	Oil Cum x pozo Km3
P90	32,26	3,62	59,34
P50	13,89	1,49	26,20
P10	5,91	0,61	11,71

b) Pozo tipo

Utilizando el valor obtenido de las acumuladas por pozo para conseguir estos valores de petróleo recuperable con un distanciamiento de 750 m, se determina el pozo tipo. Este dato es clave para predecir los pronósticos de producción que definirán las instalaciones de superficie necesarias para llevar a cabo tal desarrollo.

A continuación, presentamos las estimaciones de los pozos tipo:



Figura 19. Pozo tipo probabilístico

	Oil Cum x poz Km3
P90	59,34
P50	26,20
P10	11,71

Cálculo determinístico del OOIP

El cálculo determinístico surge de los datos petrofísicos de los pocos pozos que han llegado a la Fm. Tordillo en el área en estudio.

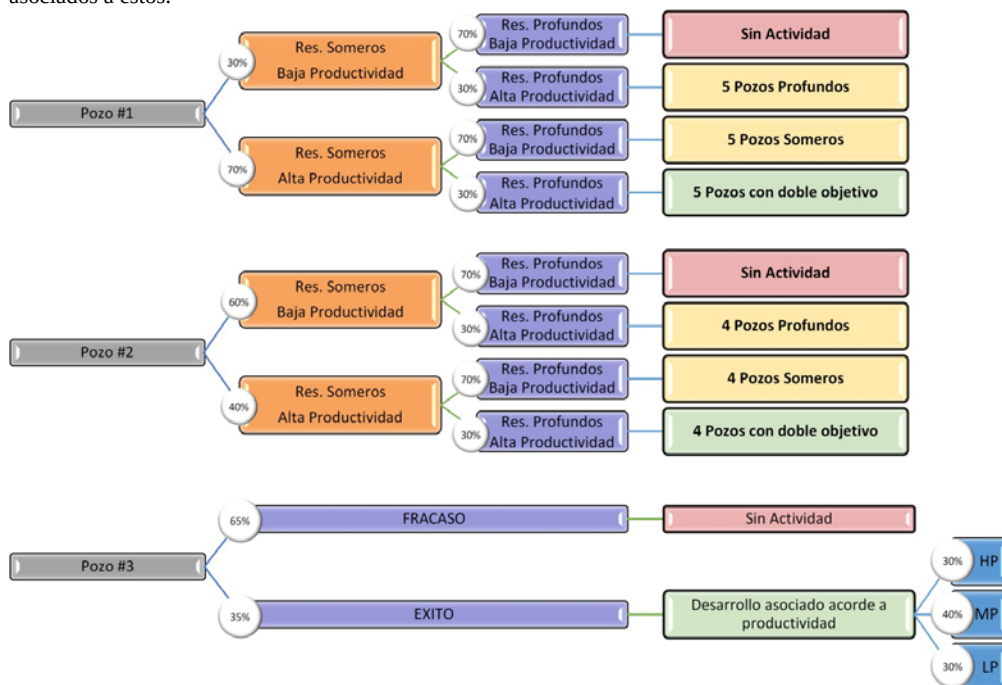
Parámetro	Valor	Unidad
Área	35	km2
Hu (Espesor Útil)	7	m
Φ (Porosidad)	0,15	
So (Saturación de Petróleo)	0,45	
Bo (Factor de Volumen)	1,06	

$$OOIP = \frac{A * Hu * \Phi * So}{Bo}$$

Teniendo en cuenta los valores especificados en la tabla y aplicando la fórmula, se obtiene un OOIP de 15,6 Mm3. El valor estimado probabilísticamente para P50 es de 13,89 Mm3.

Análisis de riesgo: árbol de decisión

Teniendo en cuenta los distintos escenarios, hemos procedido a plantear el siguiente árbol de decisiones basándonos en los tres pozos, en sus reservorios profundos y someros y en los riesgos geológicos asociados a éstos.



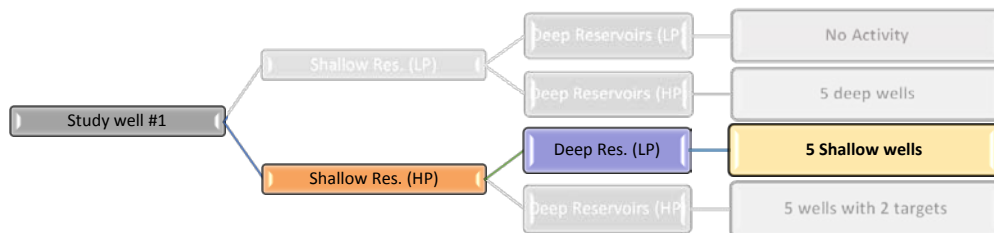
Resultados

• Pozo #1

El objetivo principal de este pozo eran los reservorios tradicionales, y sobre la base del estudio presentado se incorporarán los reservorios profundos como objetivo secundario.

En este pozo se comprobó el sistema petrolero en los reservorios profundos, aunque con baja productividad, y los reservorios someros presentaron muy buenas características petrofísicas.

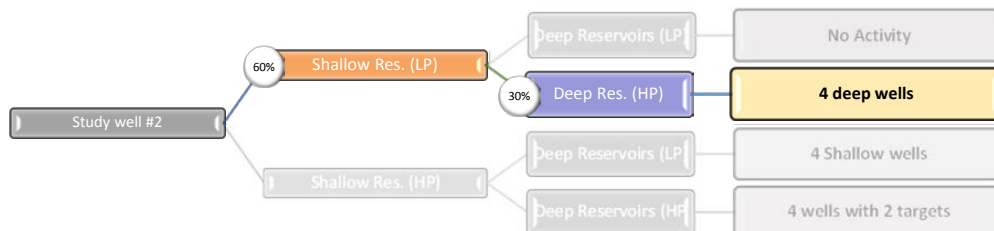
Debido a los resultados obtenidos para los reservorios profundos, surge la necesidad de optimizar las estimulaciones para desarrollos futuros.



• Pozo #2

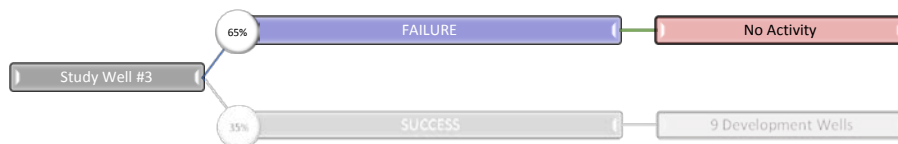
La perforación de este pozo nos permitió corroborar el sistema petrolero en los reservorios profundos, como Tordillo, Barda Negra y el Filón de Vaca Muerta. Los reservorios tradicionales presentan malas características petrofísicas, por lo cual el pozo queda en producción de los reservorios profundos.

Sobre la base de esto se perforarán 4 pozos de desarrollo, como se muestra a continuación:



• Pozo #3

El pozo tenía como objetivo principal los reservorios profundos, ya que se encuentra en la zona de mayor espesor en la Formación Tordillo.



Conclusiones

- Se pudo demostrar cómo en campos maduros se pueden encontrar reservorios profundos que pueden revitalizar el campo si se enmarcan dentro de un plan de desarrollo integrado.
- Con este tipo de estudios se puede tener una estrategia de desarrollo yendo a pozos con riesgos geológicos más altos, juntamente con el desarrollo más somero del yacimiento.
- Lo interesante a nivel de gerenciamiento de reservorios es encontrar la forma de integrar en las evaluaciones estas oportunidades profundas con el potencial ya conocido de los reservorios someros, lo cual genera un desafío desde el manejo del campo.
- Se utilizó una metodología para manejar incertidumbres mediante análisis probabilísticos y árboles de decisión, que permitieron avanzar con la toma de información para seleccionar las mejores opciones de desarrollo integrado.
- Con la profundización de los pozos y la perforación se obtuvo información que permitirá mejorar la caracterización y disminuir el nivel de incertidumbre para optimizar el futuro desarrollo y/o ubicaciones avanzadas.

Recomendaciones:

Resultados y aplicaciones en el yacimiento

Se perforaron pozos de avanzada y sus desarrollos asociados en el área que nos permitieron encontrar nuevas oportunidades en otros reservorios profundos con buenos resultados durante los ensayos, comprobando el sistema petrolero para los reservorios profundos en el área en diferentes zonas y con la oportunidad de optimizar las terminaciones de los pozos para obtener una productividad que haga económico el proyecto.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Bibliografía

-McNamee, P. and Celona, J. [1990]. Decision Analysis with Supertree, second edition. *The Scientific Press*. San Francisco, California.

-Rose, P.R. [2001]. Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures. *Methods in Exploration Series, AAPG*. Tulsa, Oklahoma.

-Schuyler, J. R. [2001] *Risk and decision analysis in projects, 2nd Edition*. Project Management Institute, Inc. Pennsylvania.

FERNANDO MORA**Título y lugar de estudio:**

Geólogo Sr. Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

Repsol YPF, YPF.

Cargo actual en la empresa:

geólogo de Desarrollo Chachahuén, Mendoza

SERGIO KOCH**Título y lugar de estudio:**

Ingeniero de Reservorios Sr. Ingeniero en Petróleo de la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén - Argentina

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

YPF

Cargo actual en la empresa:

ingeniero de Reservorios en el grupo de estudio del Activo Puesto Molina, Mendoza.

GISELA BALLESTER**Título y lugar de estudio:**

Ingeniera de Reservorios. Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza – Argentina

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

YPF

Cargo actual en la empresa:

ingeniera de Reservoirio en el Grupo Desarrollo Desfiladero Bayo, Mendoza.

SILVIA ESPINACH**Título y lugar de estudio:**

Geofísica. Licenciada en Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

YPF

Cargo actual en la empresa:

intérprete sísmico en los grupos de estudios El Portón y Puesto Molina. Mendoza Sur.

DANIEL VARAS**Título y lugar de estudio:**

Petrofísico Sr. Técnico en Petróleo

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

YPF

Cargo actual en la empresa:

Petrofísico Sr. Mendoza Sur.