

EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DE RESERVORIOS DE BAJA PERMEABILIDAD DE LA FORMACIÓN MAGALLANES EN EL BLOQUE EL CERRITO, CUENCA AUSTRAL, ARGENTINA

Damián Mariano Jait¹, Martín Cevallos¹, María Luz Molinari¹, Alejandro Cangini¹,
 Federico Mas Cattapan¹, Víctor Vega²

1: CGC, damian_jait@cgc.com.ar, martin_cevallos@cgc.com.ar, luz_molinari@cgc.com.ar,
 alejandro_cangini@cgc.com.ar, federico_mcattapan@cgc.com.ar

2: V&G Exploration, victor@vngexploration.com

Keywords: Magallanes, tight, baja permeabilidad, El Cerrito, El Campamento, Cuenca Austral

ABSTRACT

Exploration and development of low permeability reservoirs in the Magallanes Formation in El Cerrito Block, Austral Basin, Argentina.

El Cerrito block is located 170 km to the northwest of the Río Gallegos City, in the Santa Cruz Province. The production of the area is mainly gas from low permeability reservoirs from the Magallanes Fm. It was discovered in 1996 with the well EC.x-1, but remained uneconomical until 2006 when the M0 reservoir was fractured. Between 2006 and 2008 two appraisal wells were drilled and in 2016-2017 the development of the El Cerrito field started with the drilling of 3 more wells. In the last year, El Cerrito Oeste Field was discovered, now producing gas from M2 sandstones. Both accumulations are mainly stratigraphic and were identified in 3D seismic based on their geometry, amplitude anomaly and AVO Class III response.

The M0 reservoir is mainly composed of fine to medium feldspathic lithic sandstones with porosities ranging from 18% to 22% and permeability from 0.01 to 4 mD. It is stratigraphically above the M1 reservoir (Campo Indio main gas reservoir). The depositional geometry of the seismosequence that contains this reservoir is interpreted as an embayment with its maximum thickness in its main axis (NNW-SSE) with the reservoir facies developed in the eastern margin as a basal unit.

The M2 Reservoir is interpreted as a prograding sigmoid from the northwest stratigraphically below the M0 and M1 cycle. It is a coarsening upward sequence with a sharp top, developing reservoir facies in the upper section, mainly in the eastern portion of the sigmoid. It is a very fine to fine shaly feldspathic highly laminated lithic sandstone. Porosity ranges from 15% to 23% and permeability from 0.1 to 1.3 mD.

The seismic identification and characterization of these productive units was achieved through detailed seismic reinterpretation, defining a preliminary depositional model and their stratigraphic relation with other hydrocarbon accumulations in the Lower Member of the Magallanes Fm. It was complemented with the identification of seismic anomalies and AVO response analysis.

The area is now subjected to a drilling campaign of development and exploratory wells, being the later directed to Magallanes Fm. prospects identified throughout the area.

INTRODUCCIÓN

Las áreas El Cerrito, El Campamento y Cañadón Deus (a partir de ahora El Cerrito/Campamento) se ubica a 170 km al Noroeste de la Ciudad de Río Gallegos en la Provincia de Santa Cruz. El Bloque cuenta con un área de 709 km² cubierto por sísmica 3D casi en su totalidad. A la fecha (junio 2018) tienen perforados 21 pozos de los cuales 13 son exploratorios, 4 de avanzada y 4 de desarrollo (Figura 1). El área está siendo sujeto de una campaña de perforación que involucra pozos exploratorios, de avanzada y de desarrollo.

Tanto los bloques El Cerrito/Campamento como las áreas vecinas han tenido históricamente dos objetivos exploratorios principales de investigación exploratoria: la Fm. Springhill y la Fm. Piedra Clavada. Sin embargo, algunos ensayos aleatorios históricos en el Terciario y la reinterpretación sísmica en detalle de esos niveles, incluyendo análisis de AVO, permitieron generar un porfolio de proyectos de exploración y delineación. Esto motivó a reiniciar la perforación en el bloque, su puesta en producción por primera vez y su situación actual de producción creciente. En este año se perforarán 4 pozos exploratorios y 6 de desarrollo y avanzada.

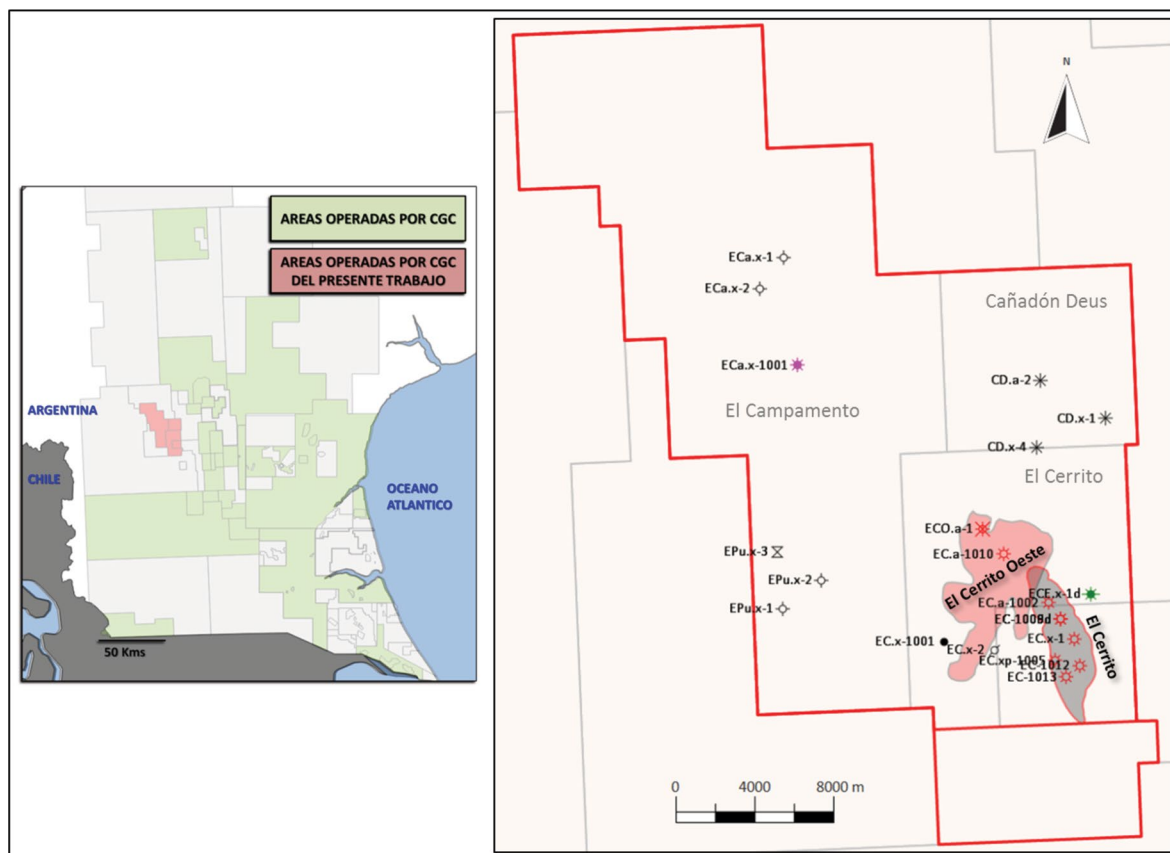


Figura 1. Ubicación de las áreas El Cerrito y sus yacimientos en desarrollo: El Cerrito y El Cerrito Oeste.

En el año 1996 el pozo EC.x-1(Quintana) con objetivo principal en la Fm. Springhill descubre gas en un reservorio de la sección inferior de la Fm. Magallanes (Maastrichtiano Superior – Paleoceno Inferior, equivalente a la Fm. Calafate, Mpodozis *et al.* 2011). El reservorio, informalmente denominado M0, corresponde a litoarenitas feldespáticas y glauconíticas de grano fino a medio, de origen marino somero que forman parte de una serie de clinoformas sísmicas con zonas de aporte variadas (de Oeste a Noreste). La compañía Petrobras, 10 años después, entre 2006 y 2008 perfora 2 pozos adicionales, constatando la presencia de gas en los mismos reservorios. Sin embargo, el campo no es puesto en producción. Entre 2005 y 2007 Petrobras también lleva a cabo adquisiciones sísmica en Cañadón Deus, El Cerrito y finalmente en El Campamento, procesando un merge luego de la última adquisición.

En el año 2017 la compañía CGC toma la operación del Bloque iniciando una agresiva campaña de delineación y exploración en el mismo con objetivo en el Miembro Inferior de la Fm. Magallanes, perforando 4 pozos, poniendo en marcha el yacimiento El Cerrito y descubriendo una nueva acumulación hacia el Oeste denominada El Cerrito Oeste. Esta nueva acumulación corresponde al reservorio M2, estratigráficamente por debajo de las unidades M0 y M1.

Las acumulaciones en la sección inferior de la Fm. Magallanes, tanto las descubiertas como los prospectos, presentan una componente estratigráfica dominante. Un sutil cambio granulométrico, de limoarcilita a arenisca muy fina a media es la que permitió que los hidrocarburos en migración desplazaran parte del agua connata y saturaran la roca hasta un nivel producible. Estos cambios de facies se dan dentro de secuencias sedimentarias (posiblemente de 3er orden, Sullivan *et al.* 2005) tanto en estadios de mar alto, como en condiciones de regresión forzada y mar bajo. Estos cambios producen variaciones en la densidad de la roca que se refleja en su carácter sísmico, el cual es amplificado por la presencia de gas. Se han verificado anomalías de AVO en la mayoría de los niveles prospectivos, aunque en ocasiones esto corresponde a saturaciones de agua no productiva (“fizz water”). Este contraste sísmico permite el mapeo y la definición de prospectos, los cuales tienen nulo o escaso control estructural.

En este trabajo se hará principal foco en las unidades M0 y M2 actualmente en producción en el área El Cerrito. La reciente campaña exploratoria también tuvo un descubrimiento en la unidad M3 subyacente a M2 y en Fm. Anita asignada a Palermo Aike.

ANTECEDENTES

La exploración en los bloques de El Cerrito/Campamento comienza con la empresa YPF con el pozo ECa.x-1 en el año 1982 con objetivo en las areniscas de la Fm. Springhill las cuales resultaron muy arcillosas y con muy baja permeabilidad. Sin embargo, en las areniscas de la Fm. Piedra Clavada tuvieron rastros y se quemó gas al campo de un ensayo DST. El pozo fue abandonado. Posteriormente, ECa.x-2 (1991) fue a buscar estructura arriba las areniscas del pozo

ECa.x-1, el cual culminó con un ensayo con agua en la Fm. Magallanes.

En la década del 90 la empresa Quintana realiza varios descubrimientos en las areniscas del Terciario en los Yacimientos Campo Boleadoras y Puesto Peter, cómo también los descubrimientos en las areniscas de la Fm. Springhill en La Paz, Campo Indio, Laguna del Oro, La Porfiada, Cañadon Deus y Dos Hermanos. Basado en estos excelentes resultados se comienza una exploración con la perforación de varios pozos en búsqueda de ambos objetivos en la zona de El Cerrito. El pozo EC.x-1 (1996) descubrió gas (arenisca M0-Qi: 17 Mm³/d de gas) y petróleo (arenisca M3-Qi: 12 m³/d de petróleo y 22 m³/d de agua) correspondiente al Miembro Inferior de la Fm. Magallanes.

Posteriormente, en la década del 2000 Petrobras inicia la exploración de intrusivos emplazados en Palermo Aike. Los pozos El Puma.x-1 y El Puma.x-2 tuvieron ensayos de gas muy pobres en dichos intrusivos visualizados con sísmica 3D. También se perfora el pozo ECa.x-1001 con múltiples objetivos donde un ensayo de Piedra Clavada es lo más resaltante con un descubrimiento de gas estabilizado en 15 días (Qi: 47 Mm³/d de gas). Hacia el sur del bloque se perfora EC.x-1001 con objetivo Fm. Springhill en la estructura llamada El Cerrito, con resultado negativo (alto pelado). Finalmente, se perforó EC.a-1002 (2006), un pozo de avanzada del pozo EC.x-1 buscando la Fm. Magallanes. El pozo fue un éxito exploratorio con un Qi de 150 Mm³/d por un orificio de 16 mm. Sin embargo, el descubrimiento no fue puesto en producción.

Entre 2005 y 2007, Petrobras lleva una campaña de adquisición sísmica que incluyó las áreas Cañadón Deus (150 km²), El Cerrito (119 km²) y El Campamento (610 km²). El procesamiento sísmico lo lleva a cabo WesternGeco resultado en un merge de 810 km² con el que se ha interpretado hasta la fecha.

En el año 2015 la compañía CGC toma la operación del bloque e inicia una reinterpretación general del potencial del área. Se fractura M0 en el pozo EC.xp-1005 y en 2016 se pone en producción el campo junto a los pozos EC.x-1 y EC.a-1002, luego de la construcción de una planta de acondicionamiento del punto de rocío. En 2017 se inicia una campaña de exploración y desarrollo con la perforación de los pozos EC-1006d, EC-1009d, EC-1012, EC-1013 con objetivo en areniscas M0.

Finalmente, CGC en los últimos dos años exploró la zona hacia el Este con el pozo ECE.x-1 y hacia el Oeste con los pozos EC.a-1010 (M2) y El Puma.x-3 con objetivo en las formaciones Magallanes y Anita.

MARCO GEOLÓGICO

En el área se han perforado pozos profundos que permitieron caracterizar la columna geológica de la zona. Las principales formaciones que la componen son: Serie Tobifera, Springhill, Palermo Aike (Margas Verdes, Pierda Clavada, Mata Amarilla, Anita), Magallanes y Santa Cruz (Miller y Cagnolatti 1999, Cagnolatti y Miller 2002, Peroni *et al.* 2002, Mpodozis *et al.* 2011).

La Fm. Anita, incluida en el techo de la Fm. Palermo Aike (Figura 2), se caracteriza por una tendencia grano y estratocreciente de intercalaciones de cuerpos arenosos y arcilitas. Los depósitos arenosos se inician como cuerpos de arena de bajo espesor, arcillosos, de grano fino a muy fino, gradando hacia areniscas de granulometría mediana y gruesa con escasa intercalación de paquetes arcillosos con un espesor que puede alcanzar los 60 m. Por encima se apoya en contacto neto un paquete de areniscas y arcilitas, en ocasiones carbonosas, que alcanza los 110 m de espesor hacia el Oeste y se encuentra ausente en el límite sudoriental.

La Fm. Magallanes se apoya en discordancia (D3-Maastrichiano basal, Figura 2) sobre la Fm. Anita. El Miembro Inferior de esta formación contiene a los reservorios tratados en el presente trabajo, interpretados como depósitos marinos someros (Cagnolatti y Miller 1999), los cuales representan parte del relleno de antepaís de la Cuenca Austral (Saccavino *et al.* 2005, Mpodozis *et al.* 2011). En subsuelo esta unidad se divide informalmente en cuatro ciclos que contienen los reservorios, numerados de techo a base como: M0, M1, M2 y M3. La unidad más vieja (M3) es productora en Puesto Peter y María Inés (Cagnolatti y Miller 2002) y corresponden al primer cuerpo de arenas depositados sobre la discordancia D3. En la zona se ha visto como areniscas de buena calidad con rastros de hidrocarburos y fluorescencia. Por encima se encuentra M2, productor de gas en el yacimiento El Cerrito Oeste, sucedido por M1 (nivel equivalente al productor en Campo Indio y Campo Boleadoras). La discordancia Post Daniana D4 marca el techo de este último reservorio y de la secuencia de 2do Orden Calafate que contiene los reservorios M1, M2 y M3 (Saccavino *et al.* 2005). Por encima de la discordancia D4 se desarrollan niveles arenosos de menor extensión areal denominados M0, productivos en el yacimiento El Cerrito y Morena Sur, interpretados como depósitos transgresivos de la secuencia cuspidal del Miembro Inferior de la Fm. Magallanes.

El Miembro Superior de la Fm. Magallanes suprayace en contacto neto y se encuentra constituido por una sucesión pelítico-arenosa en la que intercalan característicos depósitos de carbón, acumulados en un cortejo sedimentario desde marino somero-parálco a continental. El espesor de esta unidad varía entre algo más de 500 m a unos 700 m, con sentido de espesamiento hacia el sector sur occidental del área.

Finalmente la sucesión culmina con los depósitos continentales de Fm. Santa Cruz que en la zona son cubiertos por el material Holoceno que se encuentra aflorando.

RESERVORIO M0

El reservorio M0 se encuentra limitado a la zona suroccidental del bloque donde actualmente se encuentra en desarrollo en 7 pozos. Corresponde a una litoarenisca feldespática, en ocasiones glauconítica con un arreglo granocreciente que grada de limolitas y areniscas arcillosas a areniscas medianas hasta conglomerádicas, con una variable intensidad de bioturbación. El reservorio

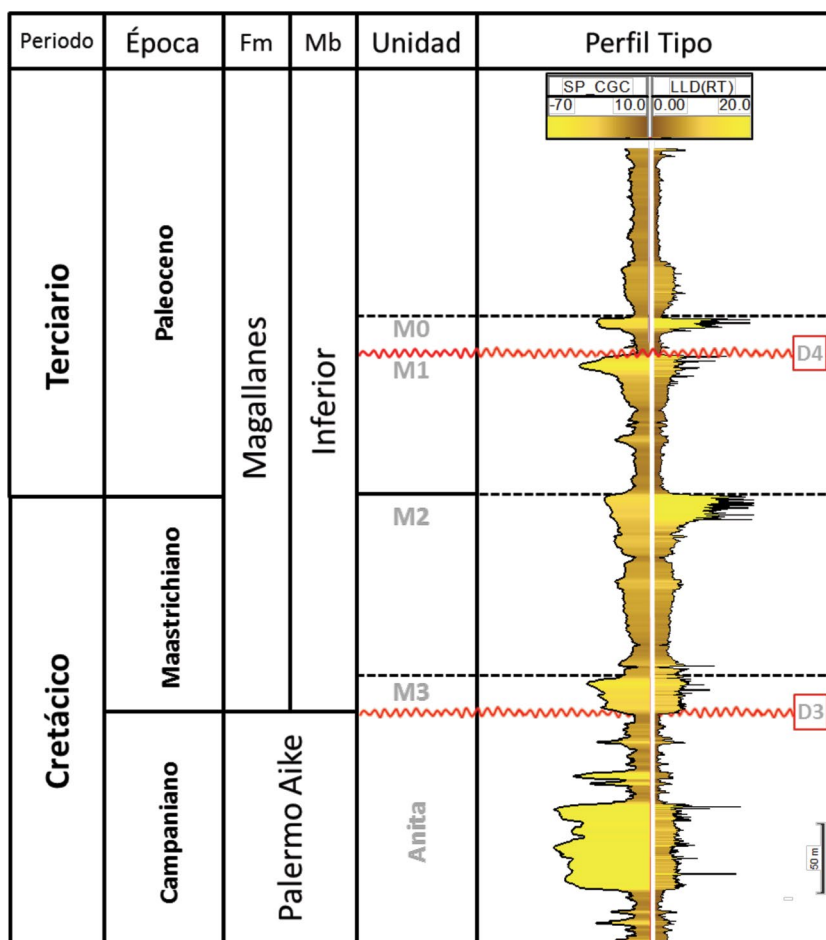


Figura 2. Perfil tipo para los reservorios de la Fm. Magallanes y Fm. Anita. (Fm: Formación, Mb: Miembro)

se encuentra contenido en la base de la sección distal de una sismosecuencia que se interpreta acumulado en una bahía en un ambiente marino somero en el ámbito de una plataforma interna.

Las areniscas presentan porosidades entre 18% y 22% y permeabilidades generalmente entre 0,01 mD y 4 mD, dándole características de reservorio de baja permeabilidad.

El reservorio M0 se encuentra caracterizado en detalle con datos de corona tomada en la mitad inferior del reservorio en el pozo EC.x-1 (Figura 3). En ella se puede observar el arreglo granocreciente que se inicia con limolitas y arcilitas con laminación cruzada y horizontal difusa, con abundante bioturbación, presencia de ostrácodos y foraminíferos. Por encima se encuentran facies de arenisca fina y muy fina intercalada por areniscas arcillosas, principalmente masivas o con estratificación cruzada difusa de bajo ángulo, con moderada a alta bioturbación. Finalmente se describen areniscas conglomerádicas, predominantemente masivas y escasos fragmentos de ostras. Casi todos los contactos entre facies están representados por superficies altamente perforadas por organismos interpretadas como hardgrounds generadas por litificación temprana durante periodos de no sedimentación.

El arreglo granocreciente también se identifica en el control geológico en el cual dominan las areniscas medianas, escasa gruesa a muy gruesa, gris muy claro y verde muy claro, con areniscas finas y muy finas, ocasionalmente glauconíticas hacia la base y conglomerádicas hacia el techo.

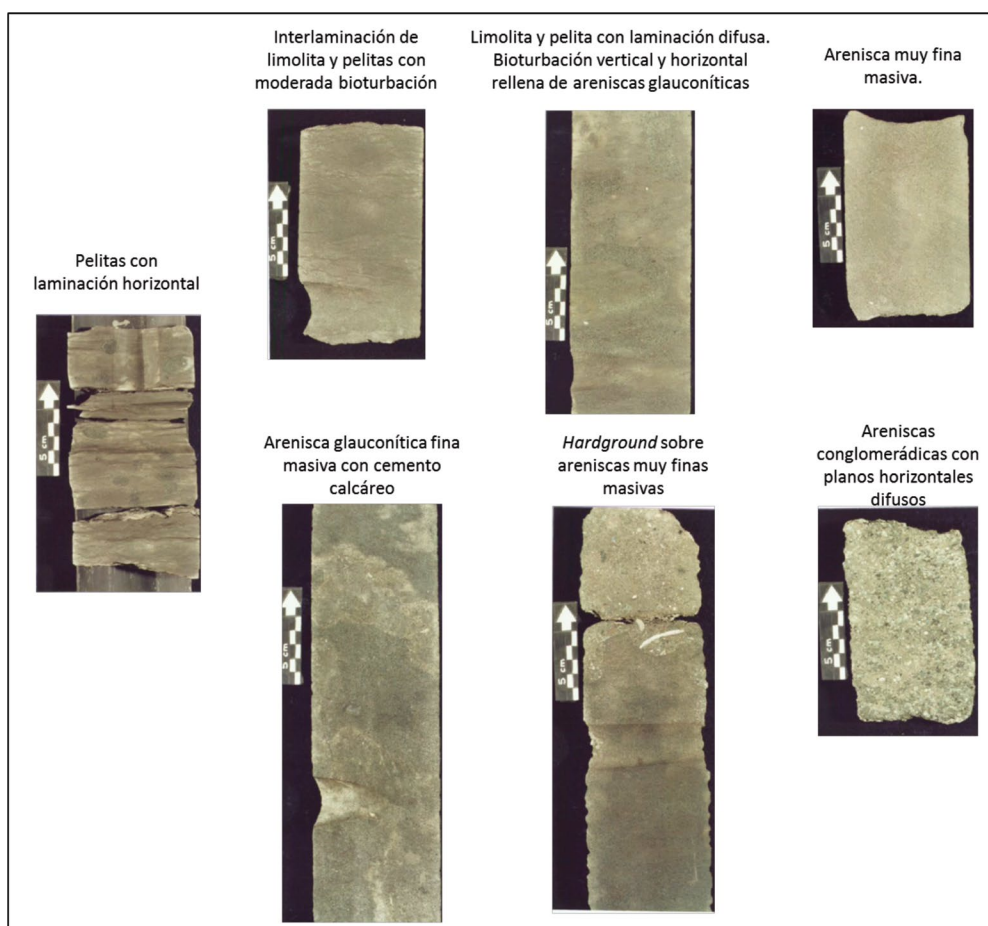


Figura 3. Litologías y estructuras sedimentarias identificadas en la corona del EC.x-1 en la mitad inferior del reservorio M0. Se observan facies finas de pelitas y limolitas hasta areniscas conglomerádicas.

Petrográficamente, las facies más finas se agrupan en arcilitas, arcilitas arenosas y wackes lítico feldespáticos. Las facies intermedias, más abundantes, corresponden a litoarenitas, litoarenitas feldespáticas y areniscas glauconíticas. Por último, las facies más gruesas se dividen en areniscas y wackes conglomerádicos.

La composición mineralógica corresponde a 45-70% cuarzo, 10-40% feldespatos y 10-20% arcillas. Las arcillas por su parte son principalmente clorita e illita. La glauconita no ha sido diferenciada de la illita en DRX, sin embargo se ha observado hasta 15% de la misma en cortes delgados. También es muy común la presencia de pirita.

En los perfiles eléctricos M0 presenta resistividades en el rango de 5 a 12 ohm.m con 8

ohm.m promedio. Las máximas resistividades están asociadas a niveles cementados evidenciados con bajo rayos gama, alta densidad, factor fotoeléctrico y velocidad. Se reconocen también niveles glauconíticos en la base por su alto nivel de rayos gama y factor fotoeléctrico, baja resistividad y alta separación de las curvas de Densidad-Neutrón (Figura 4). Las porosidades efectivas calculadas para M0 se encuentran entre 18% y 22%.

El estudio de petrofísica básica realizado sobre la corona del EC.x-1 arrojó valores de porosidad entre 15 y 27%, estando las mayores asociadas a las facies de areniscas conglomerádicas. Las permeabilidades, por su parte se encuentran predominantemente en el rango de 0,01 mD a 4 mD, encontrándose las mayores hacia el techo.

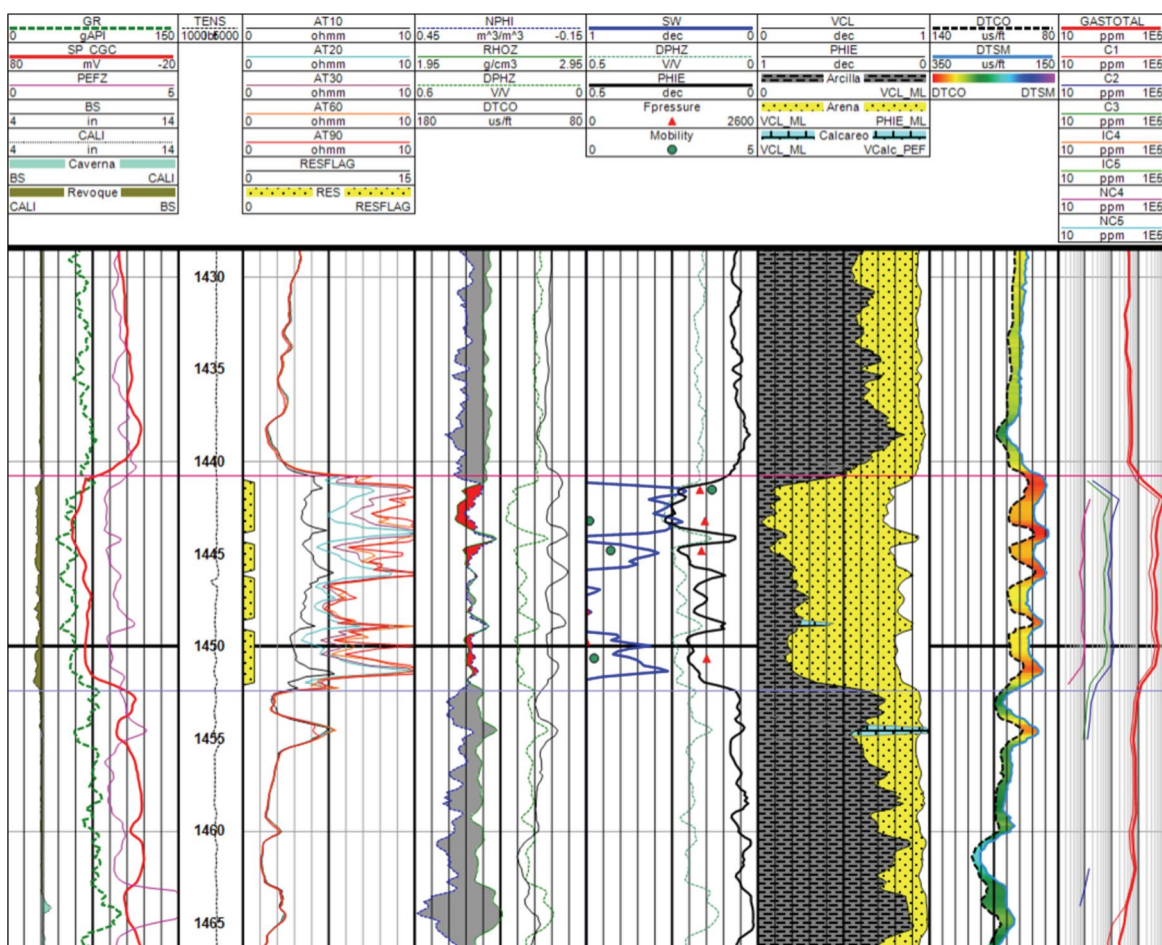


Figura 4. Perfil petrofísico del reservorio M0 en el yacimiento El Cerrito. Nota: el cruce densidad-neutrón se encuentra en escala caliza para maximizar la respuesta de gas.

RESERVORIO M2

Esta unidad forma parte de una serie de secuencias clinoformes, posiblemente de 3er orden (Sullivan *et al.* 2005), que en algunos sectores pueden ser mapeables sísmicamente. Las clinoformas

localmente se disponen elongadas en dirección NNE-SSO y progradan hacia el ESE. El reservorio M2, recientemente descubierto y puesto en producción en El Cerrito Oeste, se dispone en la sección superior de una de estas clinoformas. Si bien la información de pozos es aún escasa y dispersa, preliminarmente se interpreta como un cortejo de nivel alto, aunque algunos cambios verticales abruptos de facies podrían corresponder a una regresión forzada en el techo de la secuencia.

El reservorio está compuesto por arenisca arcillosa gris verdosa claro a medio, muy fina, subangulosa a subredondeada, y arenisca fina a muy fina, en ocasiones mediana, con regular selección. Presenta un arreglo granocreciente evidente en los perfiles eléctricos, especialmente en las resistividades que van de 8-10 ohmm a 16-18 ohmm hacia el techo (Figura 5). Los perfiles de rayos gama, potencial espontáneo y la separación de la densidad y el neutrón indican también una mejora del reservorio hacia el techo. Cabe destacar que el reservorio muestra una gran laminación evidenciada en el perfil de resistividades que no se ha podido caracterizar hasta el momento con muestras de roca ni perfil de imagen, los cuales serán adquiridos en futuros pozos.

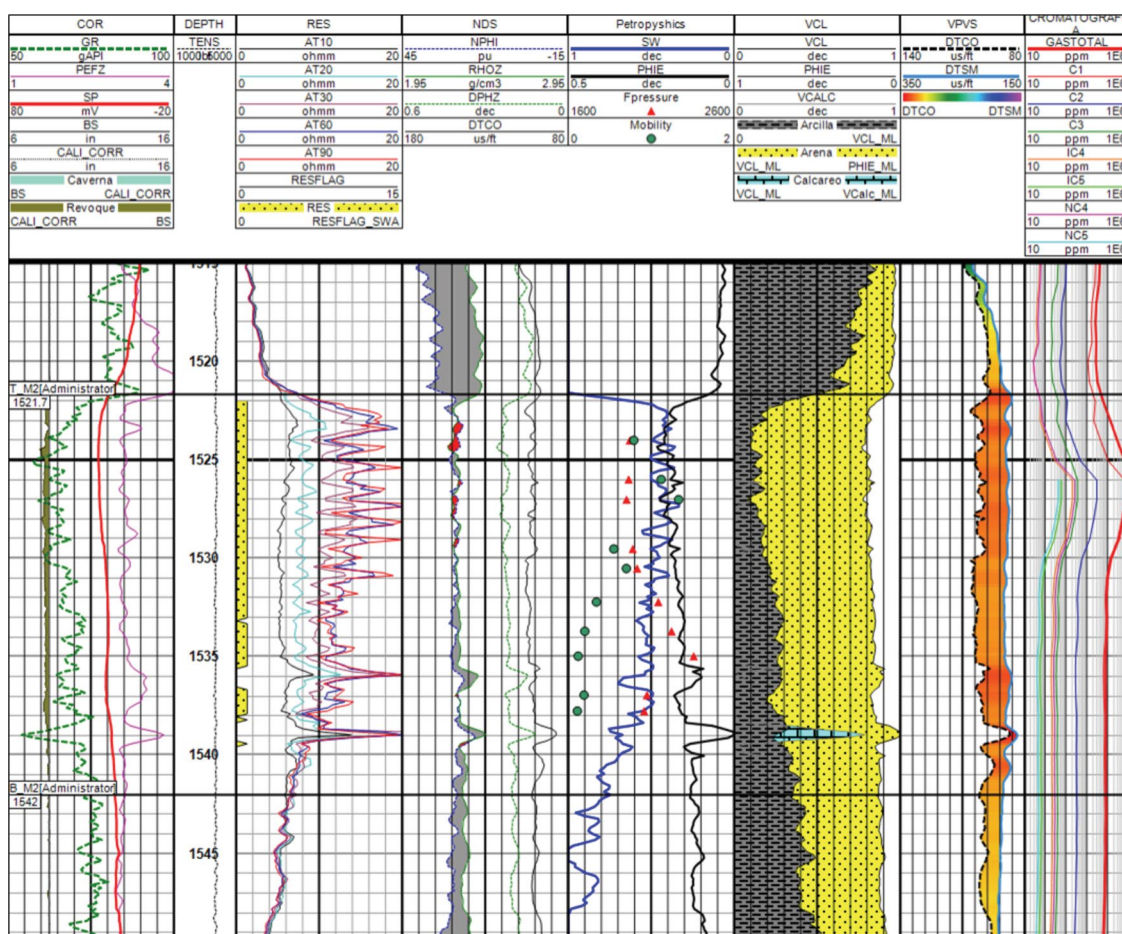


Figura 5. Perfil petrofísico del reservorio M2 en el yacimiento El Cerrito Oeste. Se observa el arreglo granocreciente en los rayos gama, potencial espontáneo, resistividad y densidad-neutrón. Nota: el cruce densidad-neutrón se encuentra en escala caliza para maximizar la respuesta de gas.

La porosidad total es de 24% y la efectiva calculada se encuentra en el rango de 15% a 23%, mientras que la movilidad registrada con perfil de presiones fue entre 0.1 y 1.3 mD/cP, con las mayores obtenidas hacia el techo de la capa.

Hacia el Oeste del área, el pozo El Puma.x-3 descubrió gas en un cuerpo de características similares a las observadas en El Cerrito Oeste la cual es también asignada a la unidad M2. Presenta una base de areniscas arcillosas finas a medianas de baja permeabilidad que pasa transicionalmente hacia el techo a areniscas medianas a gruesas con movilidades entre 6 y 20 mD.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

La interpretación sísmica del Miembro Inferior de la Fm. Magallanes, permitió definir sismosecuencias e identificar anomalías de amplitud. El análisis detallado de dichas anomalías y la detección de respuesta de AVO fue clave para la definición de prospectos exploratorios. En los casos exitosos de El Cerrito y El Cerrito Oeste, el dato de pozo en conjunto con una reinterpretación de la sísmica permitió la planificación de la delineación y desarrollo de los yacimientos.

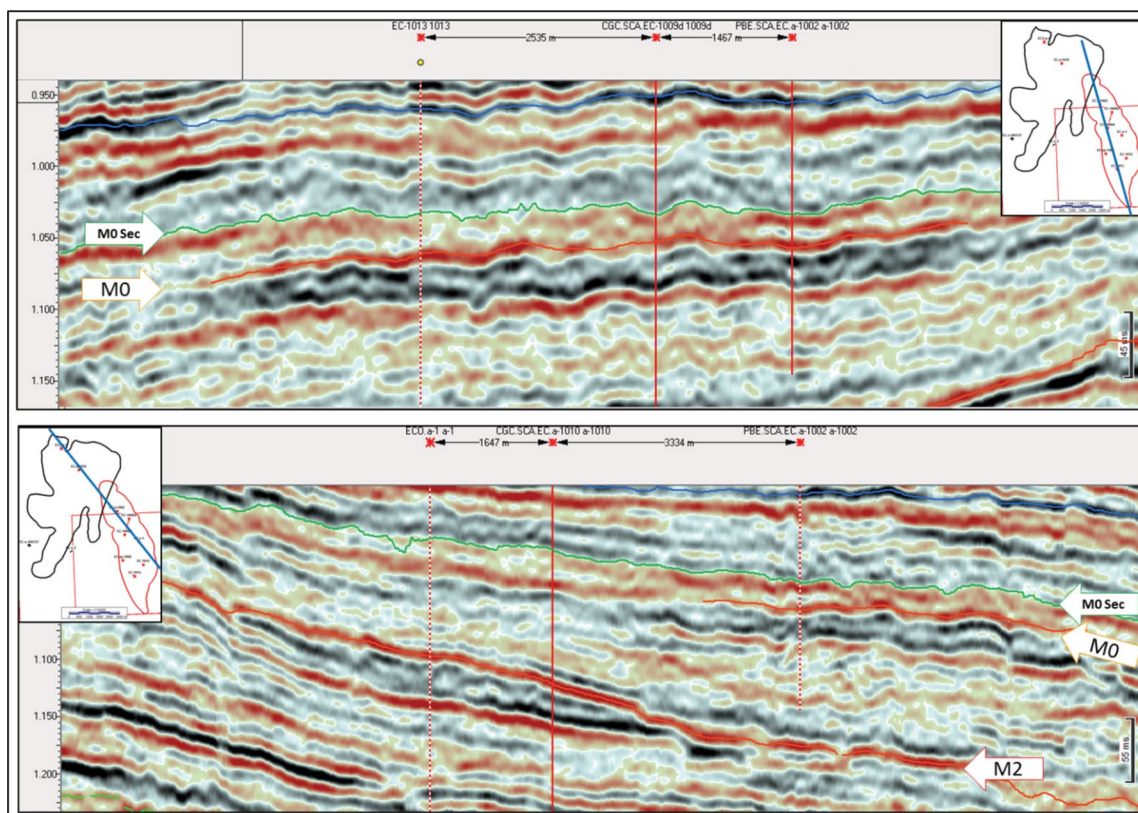


Figura 6. Arriba: sección sísmica S-N en el yacimiento El Cerrito (M0). Nótese la continuidad lateral y la heterogeneidad en la amplitud entre los pozos EC-1009d y EC-1013. Abajo: sección sísmica NO-SE para el reservorio M2 en El Cerrito Oeste y M0 de El Cerrito.

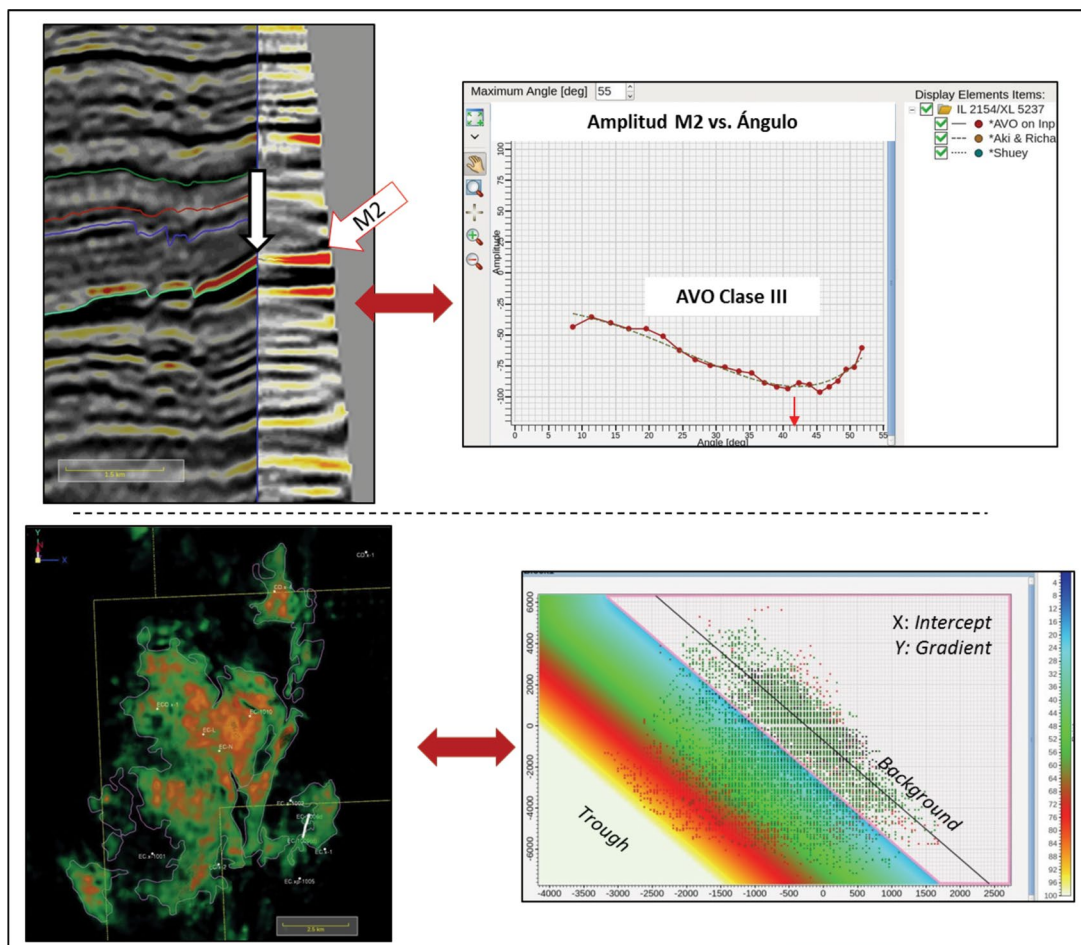


Figura 8. Arriba: ejemplo de gather sísmico en la zona del reservorio M2 (El Cerrito Oeste) con respuesta de AVO Clase III (aumento de amplitud negativa a mayor ángulo). Abajo: mapa con intensidad de AVO. Los colores más cálidos representan la mayor separación del background en el crossplot de Intercept vs. Gradient.

La buena continuidad lateral del reflector interpretado como techo en ambos reservorios permitió definir su geometría y arreglo sísmico. Las variaciones laterales de amplitud dentro del yacimiento se interpretan como heterogeneidades en la calidad y/o espesor del reservorio. Los límites laterales de las acumulaciones son netos y se identifican en los mapas de amplitud sísmica del reflector negativo interpretado (Figura 6). Para ambos yacimientos se confeccionaron mapas de espesor útil realizados con datos de pozo complementados con el dato de amplitud sísmica. En el caso de M2, con sólo dos pozos perforados, se utilizó la amplitud sísmica como principal control, interpretando en este caso que la variación lateral de dicha amplitud está reflejando principalmente un cambio de espesor útil.

En todos los casos, las acumulaciones descubiertas en el área han mostrado una respuesta de AVO Clase III en el techo (mínimo sísmico) y base (máximo inferior) interpretado para cada reservorio. Los mapas de amplitud y de intensidad de AVO en general son muy similares, mostrando límites y extensiones comparables (Figura 7). Cabe aclarar que se han evidenciado casos en que la respuesta de AVO resultó en niveles con gas no comercial (*"fizz water"*).

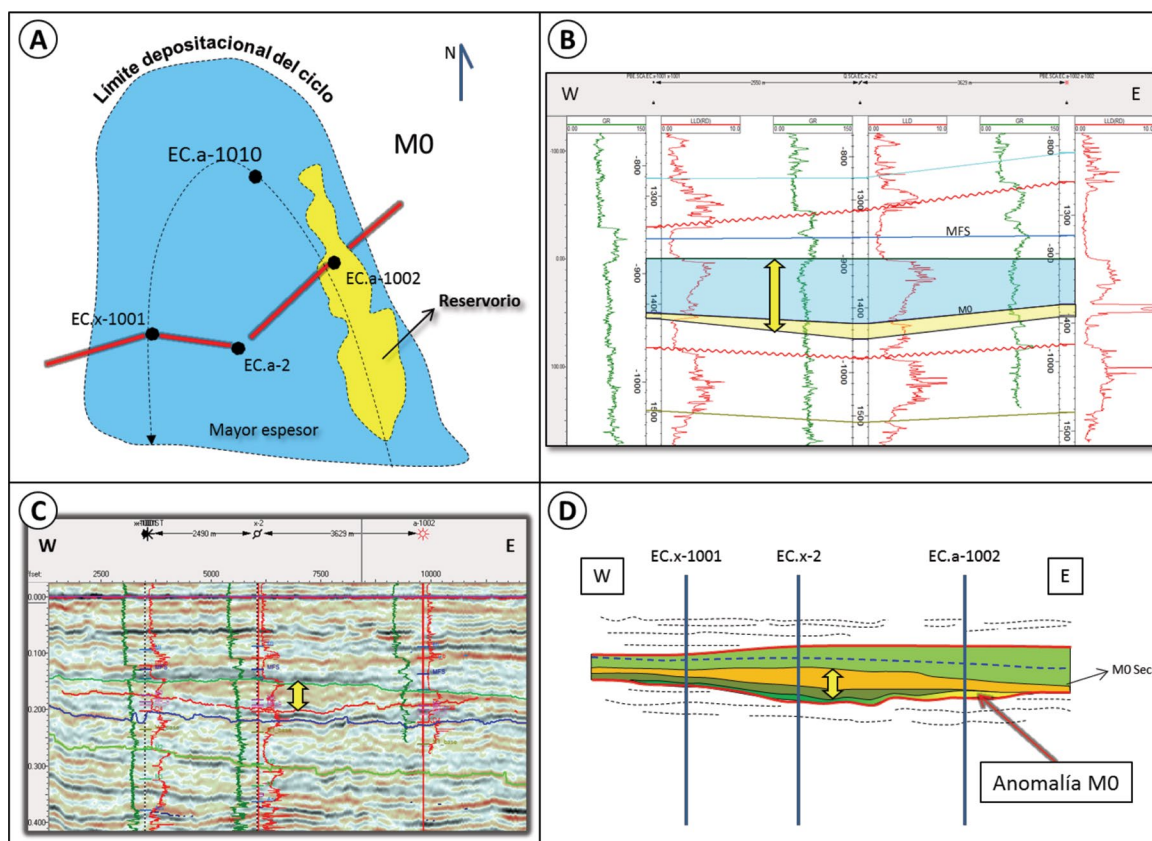


Figura 9. A) Modelo depositacional para la sismosecuencia M0 y el reservorio homónimo. B) Aumento de espesor hacia el centro de la geoforma en la posición del pozo EC.a-2. C) Sección sísmica donde se observa la geometría de la secuencia M0 con su máximo espesor hacia el centro (flecha amarilla). D) Corte esquemático del modelo depositacional.

La respuesta de AVO Clase III corresponde a un incremento en la amplitud negativa con el aumento del offset. En la Figura 8 se presenta un ejemplo de un gather en la posición del pozo descubridor de M2 en El Cerrito Oeste y la variación de amplitud con el ángulo. En el crossplot de Intercept vs. Gradient se define un background a partir del cual se obtiene un mapa que representa la intensidad de la respuesta de AVO en toda la extensión del reflector interpretado, siendo lo de mayor valor lo más alejado del background.

La interpretación permitió además caracterizar el ambiente depositacional y direcciones de aporte para cada unidad. El reservorio M0 se observa contenido en una sismosecuencia cuya geometría depositacional es la de una bahía con un máximo espesor en su eje axial NNO-SSE. Las areniscas de M0 se interpretan como los depósitos proximales con facies de reservorio que se desarrollan en una franja del margen oriental de la sismosecuencia como unidad basal (Figura 9).

El reservorio M2 se encuentra contenido en una sismosecuencia que se reconoce por una serie de sigmoides progradantes desde el Noroeste (Figura 10), donde las facies arenosas se encuentran limitadas a la parte media-distal de la sismosecuencia en el sigmoide más joven. En la zona Noreste se identifica un evento erosivo que afecta la posición distal de la secuencia en cuestión y posiblemente parte de la subyacente.

La reinterpretación sísmica en detalle junto a los resultados obtenidos durante la campaña de exploración y desarrollo, permitieron identificar prospectos fuera de los dos yacimientos actualmente en producción: M2 y Fm. Anita en El Puma, M3 hacia el Este del yacimiento El Cerrito y M1 en diferentes posiciones aún no perforadas. Esto ha permitido planificar una nueva campaña de delineación que se iniciará en la segunda mitad de 2018 y 2019.

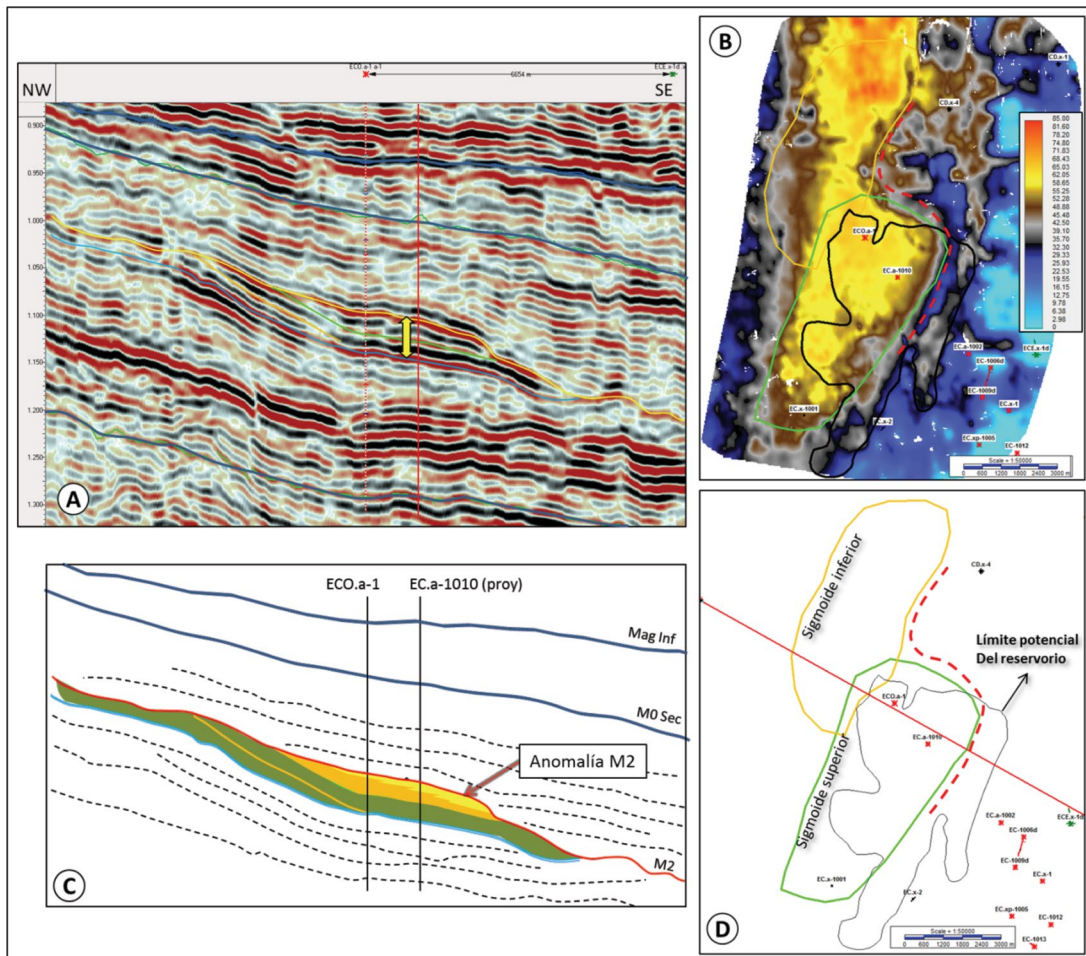


Figura 10. A) Línea sísmica arbitraria con interpretación de las clinoformas de M2. Techo M2: horizonte amarillo; sigmoide sur: línea verde; sigmoide norte: línea anaranjada. B) Espesor de la sismosecuencia y posición de los sigmoids y la zona con anomalía sísmica. C) Modelo esquemático de la sismosecuencia y sigmoids interpretados. D) mapa con la ubicación y extensión de los sigmoids. Se indica erosión con línea punteada roja.

DESARROLLO

El yacimiento El Cerrito (areniscas M0) fue descubierto con el pozo EC.x-1 en 1996, ensayando 17,5 Mm³/d de gas. En 2006 se fractura esta capa, obteniendo un ensayo de 76 Mm³/d de gas. El desarrollo continuó con dos pozos de avanzada en 2006 y 2008. El primero se perforó al norte con único objetivo en Magallanes Inferior encontrando facies con movilidades mayores a 2 mD y de

hasta 25,7 mD hacia el techo. El pozo quedó productor sin necesidad de estimulación hidráulica. El segundo pozo se perforó al sudoeste, con objetivo en la Fm. Springhill. Este encontró M0 con facies de baja permeabilidad, similares a las observadas en el pozo descubridor, necesitando ser fracturado para su explotación.

Desde 2017 ya se han perforaron cuatro pozos de desarrollo con objetivo M0, dos perforados desde una misma locación al norte del descubridor (EC-1006d y EC-1009d) y dos en la zona sur del yacimiento (EC-1012 y EC-1013). Los cuatro pozos encontraron M0 con facies de baja permeabilidad y quedaron como productores con caudales iniciales de 45-55 Mm³/d por 10 mm.

Debido a la baja permeabilidad del reservorio, los pozos necesitaron ser estimulados mediante fracturas hidráulicas. Durante el desarrollo del yacimiento, se ha ido evolucionando en el entendimiento del reservorio, ajustando principalmente cantidad y distribución del agente sostén, caudal de bombeo y concentración de aditivos. Se bombearon diseños de fractura desde 1000 a 3000 bolsas con caudales desde 14 a 18 bpm, monitoreando constantemente la correcta dosificación de los aditivos.

Actualmente las fracturas son en promedio de 2000 bolsas, con gel crosslinkeado y se llega hasta concentraciones de 8 ppg en fondo. Se usa una combinación de arena blanca 20/40 y 16/30, y se agrega al final del tratamiento un aditivo para controlar la devolución de arena. El pozo se limpia e induce con unidad de coiled tubing y el flowback se realiza con secuencia creciente de orificios pero asegurando una correcta devolución de fluidos de fractura.

La ubicación de los pozos se basó en la presencia de anomalía de amplitud para el reflector interpretado como techo de M0, junto a la presencia de respuesta de AVO Clase III. Como se observa en la Figura 7, se han perforado pozos al límite de los indicadores sísmicos así como en las zonas de mayor anomalía. No se observó una relación directa entre la ubicación de los pozos respecto a los indicadores y la productividad de los pozos. El caso extremo lo demuestra el pozo al norte que encontró facies convencionales, cuyas características sísmicas no reflejan la calidad de roca encontrada.

El yacimiento El Cerrito Oeste, productor de M2, fue descubierto en 2017 con la perforación de un pozo al Noroeste del yacimiento El Cerrito teniendo este un doble objetivo: explorar una anomalía de amplitud y respuesta de AVO fuertes en el nivel interpretado como M2 y evaluar la extensión del reservorio M0 en una zona con tenue anomalía de amplitud y sin respuesta de AVO. El pozo no encontró M0 y confirmó la presencia de gas en un reservorio de baja permeabilidad en M2. El pozo fue fracturado y puesto en producción de este último nivel con un caudal inicial de 60 Mm³/d.

Con el resultado del pozo descubridor se perforó un pozo de avanzada (ECO.a-1) hacia el límite noroccidental y se perforará al menos un pozo más en 2018 en la zona sur de la anomalía identificada. El pozo ECO.a-1 encontró el reservorio con gas comercial en un reservorio de baja permeabilidad, con un menor espesor útil en comparación al descubridor. El resultado de la

fractura y ensayo fue satisfactorio y el pozo se encuentra a la fecha en espera a ser conectado.

Al igual que M0, el plan de delimitación y desarrollo está diseñado utilizando la interpretación de la sismosecuencia, los indicadores sísmicos de amplitud y respuesta de AVO. Sumado a los dos pozos de avanzada, se espera perforar 2 pozos de desarrollo a un distanciamiento del pozo descubridor en el corto plazo.

EXPLORACIÓN

En el área se ha trabajado en identificar sismosecuencias, arreglos sísmicos y anomalías de amplitud a fin de evaluar posibles prospectos exploratorios. Para esto se interpretaron en el área los niveles correspondientes a M3, M2, M1, así como también otros regionales como discordancias, Magallanes Inferior, Palermo Aike, Mata Amarilla, Margas Verdes, Serie Tobifera, entre otros.

En el Miembro Inferior de la Fm. Magallanes, se identificaron de forma preliminar diferentes direcciones de proveniencia para los sedimentos que compone cada nivel. M3 muestra un aporte desde el Suroeste, donde las arenas hacen onlap contra la Discordancia D3 subyacente, quedando estos depósitos preservados en una dirección aproximada de rumbo NO-SE.

El reservorio M2, como se explicó anteriormente, está asociado a sigmoides provenientes del Noroeste, mientras que M1, muestra anomalías de amplitud elongadas Noroeste-Sureste interpretadas como progradaciones desde el Noreste. Las variaciones entre estos niveles se consideran producto de la posición del bloque con respecto al relleno y cierre de la cuenca. Esta interpretación es aún preliminar y se espera recolectar más información de pozo durante la campaña exploratoria 2018-2019 para poder corroborarla.

Los mapas de espesor, de amplitud sísmica y de intensidad de respuesta de AVO obtenidos sobre los diferentes horizontes interpretados llevaron a la propuesta de pozos exploratorios con diferentes objetivos principalmente dentro del Miembro Inferior de la Fm. Magallanes. Un pozo comprobó una potencial acumulaciones en M3 al Este de El Cerrito, mientras que el segundo encontró reservorios con gas en dos niveles de la Fm. Anita y M2 al Oeste del área en la zona de El Puma.

Producto del descubrimiento en la Fm. Anita, se está trabajando en la interpretación en detalle del intervalo comprendido entre la discordancia D3 y el techo de la Fm. Palermo Aike a fin de explorar el potencial de este nivel en el resto del área.

CONCLUSIONES

El Bloque en estudio es actualmente productor de gas seco de reservorios de baja permeabilidad. Sin embargo, el mismo ha tenido en sus inicios poca actividad petrolera, perforando pocos pozos muy espaciados en el tiempo. Incluso luego del descubrimiento de M0 en el pozo EC.x-1 en 1996, el campo no es puesto en producción hasta 2016, luego de que CGC tomase la operación y realizara

la estimulación del pozo EC.xp-1005. Durante la puesta en producción del Bloque se conectan 3 pozos reactivados y 4 nuevos pozos en El Cerrito, se descubre el yacimiento El Cerrito Oeste y se da inicio a la exploración del play Magallanes en el resto del área. Adicionalmente a los reservorios M0 y M2 en producción, se descubre una acumulación de M2 y Fm. Anita en la zona de El Puma.

Los reservorios en desarrollo corresponden a areniscas y areniscas arcillosas de baja permeabilidad, identificadas sísmicamente por anomalías de amplitud y respuesta de AVO Clase III. Presentan arreglos granocrecientes, M0 como unidad basal de una sismosecuencia y M2 en el techo de una secuencia sigmoidal progradante.

El futuro del bloque está enfocado al desarrollo de M0 y M2, con una agresiva campaña de perforación planeada para 2019. A su vez, la identificación de varios prospectos exploratorios en el área ha permitido ya comprobar dos nuevas acumulaciones que deberán ser delineadas. Durante la segunda mitad de 2018 y 2019 se espera perforar al menos 4 pozos exploratorios y 7 pozos de delineación que se espera que amplíen las reservas del área.

BIBLIOGRAFÍA

- Cagnolatti, M. y Miller, M., 2002, "Los reservorios de la formación Magallanes: Rocas reservorio de las cuencas productivas de Argentina", V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, p. 91-115, Mar del Plata, Argentina.
- Miller, M. L. y Cagnolatti, M. J., 1999, "Síntesis sismoestratigráfica y petrolera del Cretácico Superior alto - Terciario Inferior de la Cuenca Austral, Santa Cruz, Argentina". IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Posters: 931-934, Mar del Plata, Argentina.
- Mpodozis, C., Mella, P., Padva, D., 2011. "Estratigrafía y megasecuencias sedimentarias en la cuenca Austral - Magallanes, Argentina y Chile", VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Simposio Cuenas Argentinas: visión actual, p 97-137, Mar del Plata, Argentina.
- Peroni, G., Cagnolatti, M., Pedrazzini, M., 2002. "Cuenca Austral: Marco geológico y reserva histórica de la actividad petrolera: Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina", V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, p. 11-19, Mar del Plata, Argentina.
- Saccavino, L. L., Echeverria, C., Gutierrez, F., Cagnolatti, M., Marteau, V. M., Pedrazzini, M., Barcat, C., 2005, "Las trampas de hidrocarburos de la Formación Magallanes, Cuenca Austral, República Argentina", VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata, Argentina.
- Sullivan, M., Cagnolatti, M., Arguello, J., Gutierrez, F., Trapiche, A., Saccavino, L., Falconaro, S., Echeverria, 2005, "An application of high resolution of sequence stratigraphy: implications for improved description, modeling and management of the Springhill and Magallanes reservoirs, Austral Basin, Argentina", 2005 AAPG Annual Convention Poster Session, Calgary, Canada.



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**