

Características petrográficas de areniscas productivas y no productivas[©]

por David K. Davies, de D.K. Davies & Associates Inc.; L. Dienger y C. Selva, de Cadipsa y H. San Martín, de British Gas Argentina S.A.

La precisión en la evaluación de formaciones en las areniscas del Yacimiento Cañadón Minerales ha sido mejorada significativamente por medio del conocimiento detallado de la composición de la roca, la geometría poral y la capacidad de intercambio catiónico. Con anterioridad a la implementación de un programa integrado de análisis petrográfico y de perfiles eléctricos, el 50% de las zonas punzadas resultaron no productivas o bien alumbraban agua. Como resultado de la integración de la información derivada de los análisis de roca y de perfiles, más del 85% de las zonas punzadas en este yacimiento produjeron hidrocarburos.

David K. Davies es presidente de la empresa David K. Davies y Asociados Inc. en Houston, Texas. Egresó de la Universidad de Gales con el título de B.Sc. logrando posteriormente el Ph.D. y D.Sc. Asimismo obtuvo el título de M.Sc. de la Universidad Estatal de Louisiana en Baton Rouge. Todos los títulos son en Geología. Se ha especializado en estudios de caracterización de reservorios y evaluación de formaciones. Como resultado de sus logros en la integración de datos geológicos, petrofísicos y de ingeniería ha recibido distinciones del AAPG (American Association of Petroleum Geologists) SPE (Society of Petroleum Engineers) y de la Sociedad de Analistas Profesionales de Perfiles.

Luciano Dienger es egresado de la Universidad de Buenos Aires. Ocupó diversos cargos relacionados con la exploración y explotación petrolera en las empresas TENNESSEE ARGENTINA, YPF, ESSO SAPA, ESSO EXPLORATION en el país así como en Europa y África. Actualmente se desempeña como Gerente de Geología en CADIPSA.

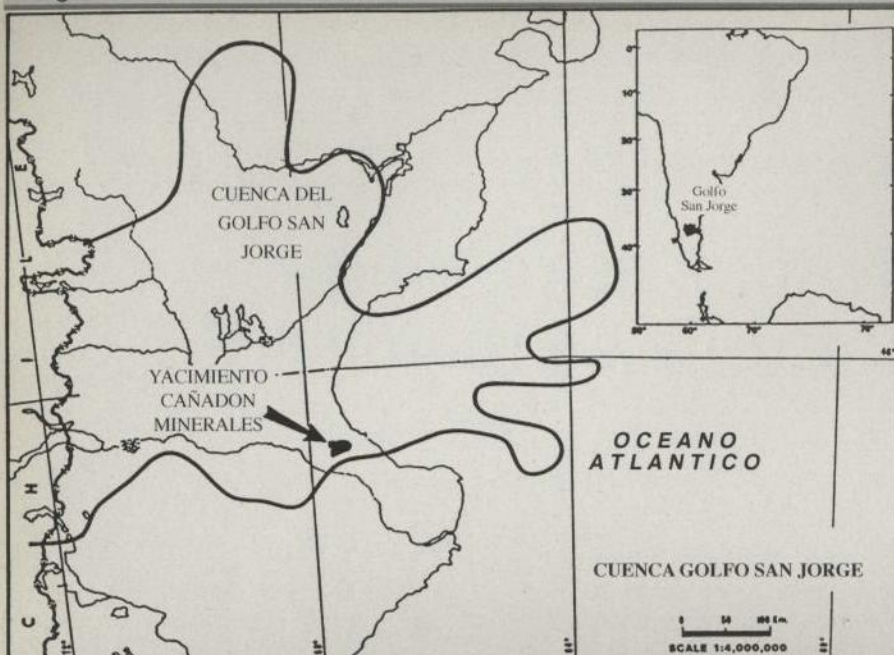
Héctor San Martín es graduado de la Universidad Central del Ecuador como Ingeniero Geólogo y posteriormente obtuvo el título de Master of Sciences (Geología) del Imperial College of Science and Technology, Londres, Reino Unido. Trabajó para el Servicio Geológico del Ecuador, TEXACO, TENNECO y BRITISH GAS E & P, en Ecuador, Colombia y los Estados Unidos. Actualmente se desempeña como Gerente de Explotación del Consorcio CADIPSA-BRITISH GAS, en el cual realiza trabajos de Exploración y Desarrollo en la cuenca del Golfo San Jorge.

Carlos Selva es egresado de la Universidad de La Plata. Luego de desempeñarse en la empresa EXLOG ingresó a CADIPSA ocupando en la actualidad el cargo de Jefe de Geología del Área Cañadón Minerales situada en la cuenca del Golfo de San Jorge.

La cuenca del Golfo de San Jorge, Argentina (Figura 1) produce alrededor de 200.000 barriles/día de petróleo, provenientes de areniscas fluviales mineralógicamente complejas pertenecientes al Cretácico Superior. Más de 20.000 pozos han sido perforados en la cuenca desde su descubrimiento en 1907. La cuenca resulta de una importancia económica crítica para la Argentina, ya que tiene una recuperación final estimada de 4 mil millones de barriles de petróleo equivalente¹.

Actualmente la cuenca está pasando por una fase muy activa de desarrollo por la acción de una gran cantidad de compañías nacionales e internacionales. La zona productiva es relativamente poco profunda (1.000 a 3.000 m), la complejidad estructural es mínima, y existe en el área una considerable estructura técnica y de equipamiento.

La cuenca tiene una larga y difícil historia de evaluación de las formaciones. Cualquier pozo normalmente penetra unas 20 o 30 capas de arenas productivas (arenas con >20% de porosidad derivada del perfil de densidad, de separación de microperfil y características satisfactorias de saturación). La relación de éxito varía de yacimiento en yacimiento. Las estadísticas del total de la cuenca indican que, históricamente, sólo cerca de un tercio de las arenas punzadas en ella producen hidrocarburos (petróleos de 18° a 38° de gravedad API). Dos tercios de las zonas punzadas, o no brindan fluidos o producen agua dulce a salobre (1.000 a 15.000 PPM en cloruro de sodio). Las condiciones económicas de la cuenca son marginales. Obviamente, una mejoría económica significativa resulta posible si las zonas no productivas ("compactas") y aquellas que producen agua se identifican correctamente y no son punzadas. Esto requiere procedi-



mientos perfeccionados para la evaluación de las formaciones y terminación de estas areniscas mineralógicamente complejas.

Muy poca información ha sido publicada en relación con las características mineralógicas, texturales y litológicas de estas areniscas. Esto resulta sorprendente dada la importancia de la cuenca y la cantidad de pozos perforados. Como un primer paso de un programa en ejecución diseñado para perfeccionar los procedimientos de evaluación y terminación, Cadipsa (el operador) y su socio, British Gas, iniciaron un detallado programa de análisis petrográfico de las areniscas potencialmente productivas del Yacimiento Cañadón Minerales (Figura 1). Este trabajo presenta los resultados del estudio petrográfico. Específicamente, el trabajo se refiere a: 1) la composición y textura de las rocas, 2) las similitudes y diferencias entre las areniscas productivas y las no productivas, 3) los mecanismos de daño de formación, y 4) las estrategias para una exitosa evaluación de la formación y terminación de aquellas.

EL ANALISIS

Este estudio se basa en el análisis de 580 muestras de testigos convencionales y de testigos laterales de percusión recuperados en 27 pozos del Yacimiento Cañadón Minerales. La mayoría de esas muestras son testigos laterales. Estos representan el método más económico para muestrear los cuerpos de arena y la mayoría de los operadores de la cuenca, en forma rutinaria, recuperan testigos laterales.

Los testigos laterales obtenidos generalmente resultan de buena calidad, debido a

las características favorables de la roca, que minimizan la fracturación y la distorsión durante el muestreo.

En este estudio han sido llevados a cabo los siguientes procedimientos analíticos sobre las muestras de rocas:

1) Análisis de cortes delgados (580 muestras): los cortes delgados fueron impregnados con resina epóxica azul y fueron teñidos para la determinación de feldespatos (ortoclasa y plagioclasa) y calcita. Los análisis de recuento de puntos de 500 cortes delgados brindan valores numéricos para el tamaño del grano, el volumen y la distribución de arcillas, la porosidad, y la mineralogía bruta.

2) Análisis de difracción de rayos X: las fracciones bruta y fina de los análisis DRX (secadas al aire, glicoladas y calcinadas) (185 muestras). Este procedimiento es usado primordialmente para determinar la mineralogía de las arcillas.

3) Análisis de microscopía electrónica de barrido (112 muestras): los resultados son utilizados en la determinación de la distribución de minerales en los poros y en las gargantas de los poros.

4) Análisis de la geometría poral (466 muestras): esta información es empleada

para cuantificar y caracterizar la estructura poral detallada de las areniscas^{2,3}.

5) Análisis de la capacidad de intercambio catiónico (298 muestras): estos datos son empleados en el cálculo de la Sw de los perfiles empleando el modelo de Waxman-Smit.

Un cuidado considerable fue ejercido durante el muestreo. Los análisis se llevaron a cabo solamente en aquellas porciones de las muestras que no mostraban evidencia de distorsión entre grano y grano debido a la percusión durante el muestreo lateral.

ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA

Los pozos en el Yacimiento Cañadón Minerales penetran en promedio a 25 intervalos de areniscas potencialmente productivas del Cretácico Superior. Estos comprenden las formaciones Cañadón Seco A, Cañadón Seco B, Mina del Carmen y Pozo D-129 (Figura 2). La mayor parte de la producción proviene de las formaciones Cañadón Seco A y B. Todas las formaciones son de origen exclusivamente continental. Los cuerpos arenosos principales que constituyen los reservorios fueron depositados en canales fluviales anastomosados y meandrosos.

Las areniscas del reservorio son litológicamente complejas, y la secuencia estratigráfica revela un marcado cambio vertical en la composición mineralógica de los granos. (Tabla 1). Existe un aumento gradual hacia arriba en el contenido de cuarzo y una disminución de los fragmentos líticos (granos multiminerale). El contenido de feldespatos muestra un cambio significativo en la abundancia (pero no en la composición) en el límite entre Cañadón Seco B y las formaciones infrayacentes, Mina del Carmen y Pozo D 129. El tamaño promedio del grano se afina hacia arriba a partir de la formación Mina del Carmen, hacia la formación Cañadón Seco A.

Las areniscas de las formaciones Pozo D 129 y Mina del Carmen consisten predominantemente de fragmentos de roca tobácea. El aporte de sedimentos se produjo de una

Tabla 1. Valores Q:F:L Normalizados y tamaño medio de granos por formación

FORMACION	CUARZO (%)	FELDESPATO (%)	LITICOS (%)	TAMAÑO DE GRANO (mm)
Cañadón Seco A	41	19	40	0.24
Cañadón Seco B	33	19	48	0.39
Mina Del Carmen	23	13	64	0.64
POZO D-129	13	13	74	0.29
Valores Promedio	35	18	47	0.36

fueron cercanas volcánicas o volcanoclásticas. Las areniscas de las formaciones Cañadón Seco A y B contienen proporciones significativamente mayores de cuarzo plutónico y feldespatos plagioclásticos que las formaciones infrayacentes. La mayoría de los fragmentos rocosos son fragmentos ígneos felsíticos. Los fragmentos volcánicos tobáceos son volumétricamente menos importantes. Esta composición sugiere una proveniencia predominantemente a partir de una fuente plutónica, probablemente andesítica.

En términos de la composición total, la arenisca promedio del Yacimiento Cañadón Minerales es arcillosa, porosa, moderadamente bien seleccionada y de grano mediano (Tablas 1 y 2). Hay una disminución gradual de la porosidad a medida que aumenta la profundidad (Tabla 2). Suele haber cementos carbonáticos (calcita, dolomita y siderita) pero son de importancia menor.

ARENISCAS PRODUCTIVAS VS. NO PRODUCTIVAS

Las consideraciones que siguen se refieren a las 175 zonas que fueron ensayadas en los 27 pozos muestreados. Estas zonas representan las formaciones Cañadón Seco A, B y Mina del Carmen. En esta discusión distinguimos entre:

a) **Zonas productivas.**-Zonas que producen cantidades medibles de fluido del punzado inicial (ya sea petróleo, agua, o petróleo y agua). En total, 150 zonas productivas (permeables, sin daño) fueron analizadas.

b) **Zonas no productivas.**-Zonas que no producen cantidades medibles de fluido del punzado inicial (zonas impermeables y dañadas). Un total de 25 zonas no productivas fueron analizadas.

c) **Zonas no ensayadas.**-Una cantidad importante de las muestras que fueron analizadas petrográficamente fueron tomadas de zonas que no fueron ensayadas. El análisis petrográfico de estas muestras contribuyó a la decisión de no ensayar esas zonas.

Tamaño de grano

El tamaño de grano de las muestras de los in-

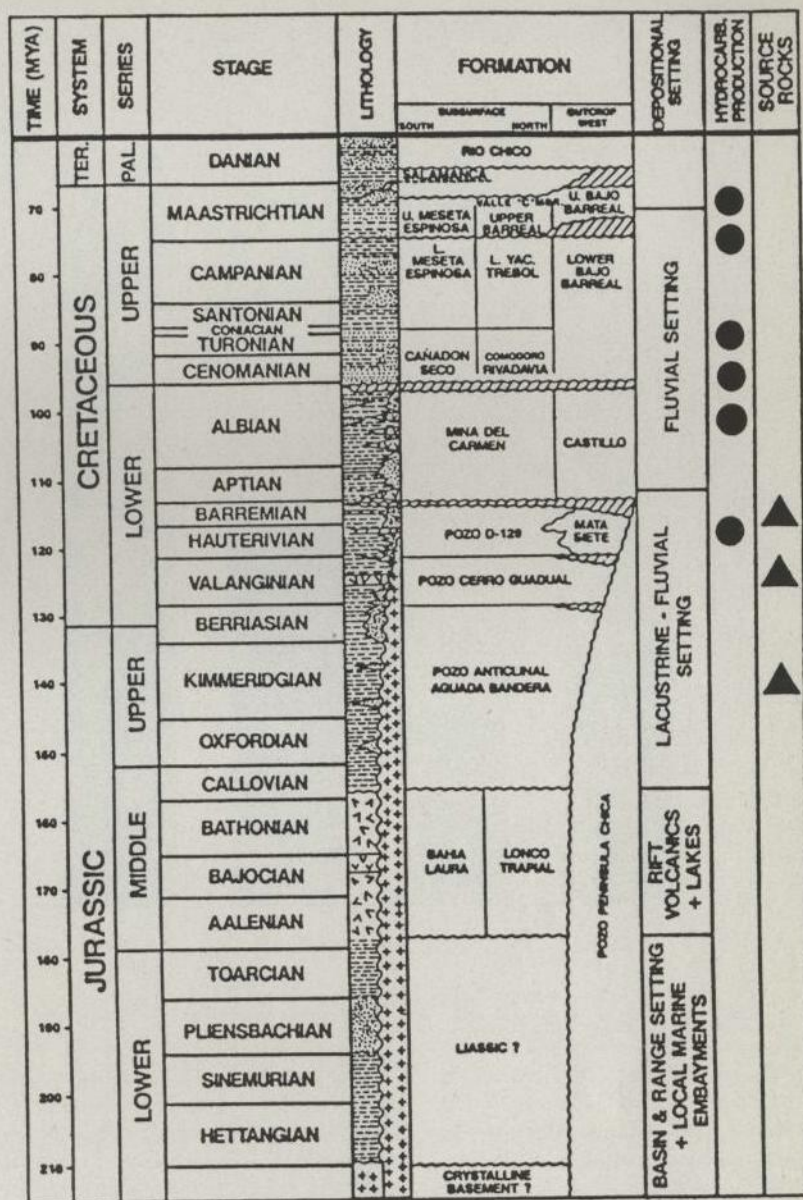
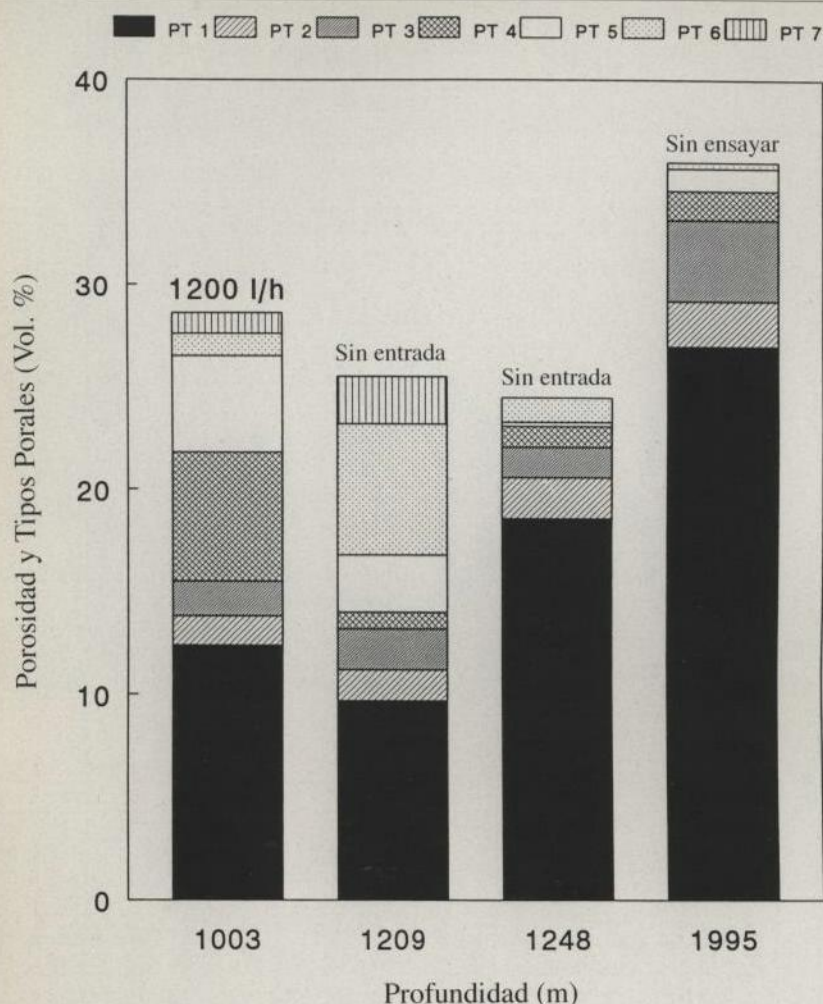


Tabla 2. Composición promedio de la arenisca, Yacimiento Cañadón Minerales. (En base a Análisis de Cortes Delgados. Datos expresados en porciento de volumen.)

FORMACION	CUARZO	FELDESPATO	FRAGMENTOS DE ROCAS	ARCILLAS	CARBONATOS	POROSIDAD
Cañadón Seco A (n = 220)	23	11	23	15	6	22
Cañadón Seco B (n = 190)	19	11	28	17	3	22
Mina Del Carmen (n = 80)	14	7	37	20	3	19
POZO D-129 (n = 10)	9	9	56	11	4	11
Promedio del Yacimiento (n = 500)	20	11	27	16	4	22

FIG. 3 RELACION ENTRE LOS TIPOS PORALES (TP) Y EL RENDIMIENTO EN ZONAS ELEGIDAS DE UN POZO, YACIMIENTO CAÑADON MINERALES



Rocas de alta porosidad pueden resultar no productivas. Esta es una de las principales razones de los importantes problemas de evaluación de formación en este yacimiento (y en la cuenca del Golfo de San Jorge como un todo).

Geometría poral

El comportamiento del reservorio está fuertemente influenciado por la geometría poral.⁵ Por lo tanto la geometría poral de las areniscas fue analizada. Las potenciales areniscas de reservorio tienen sistemas porales complejos debido a la litología, que varía grandemente, a la textura, a la compactación y a la diagénesis. Los poros se dividen en **tipos porales**, en relación con su tamaño, forma y génesis². En estas rocas pueden coexistir siete diferentes tipos porales:

Tipo poral 1: < 5 micrones de diámetro, caracterizado por presentar forma elongada a irregular. Aparece entre las laminillas de arcillas autigénicas, dentro de arcillas deposicionales y dentro de tobas zeolitizadas y silicificadas.

Tipo poral 2: 5 a 15 micrones de diámetro, forma irregular a regular, aparece entre las laminillas de arcilla autigénica y dentro de granos parcialmente lixiviados.

Tipo poral 3: diámetro de 15 a 45 micrones, forma irregular a regular, aparece dentro de granos parcialmente lixiviados (feldespato, ftanita y fragmentos de rocas ígneas).

Tipo poral 4: Diámetro de 45 a 150 micrones, forma irregular a regular, aparece dentro de granos parcialmente lixiviados (feldespatos, ftanita y fragmentos de rocas ígneas).

Tipo poral 5: diámetro de 5 a 15 micrones, forma triangular, aparece entre los granos del esqueleto.

Tipo poral 6: diámetro de 15 a 60 micrones, forma triangular, aparece entre los granos del esqueleto.

Tipo poral 7: > 60 micrones de diámetro, de forma triangular, aparece entre los granos del esqueleto.

Los tipos porales 1 a 4 son, en gran par-

tervalos ensayados va desde limolitas arcillosas hasta conglomerados (Tabla 3). No hay una diferencia significativa en el tamaño de grano promedio (media) de los cuerpos arenosos productivos y no productivos.

Porosidad

La porosidad total varía ampliamente en los intervalos productivos y no productivos. Sin embargo, el rango de valores de porosidad visual (derivado de análisis de imágenes) es similar para los cuerpos arenosos productivos y no productivos (Tabla 4). Esto también resulta cierto para los valores derivados de los perfiles de porosidad. El va-

lor más bajo de porosidad registrado en las areniscas productivas (Tabla 4) no debe ser tomado como una indicación de que nosotros creemos que una roca de porosidad muy baja sea económicamente productiva en esta cuenca. Obviamente no lo es. En todas las tablas hemos registrado todos los valores que fueron medidos en los intervalos productivos y no productivos.

La porosidad promedio de los intervalos productivos es sólo marginalmente más alta que la porosidad de los intervalos no productivos. De esta manera, la porosidad total no es necesariamente un buen indicador de la productividad en este yacimiento.

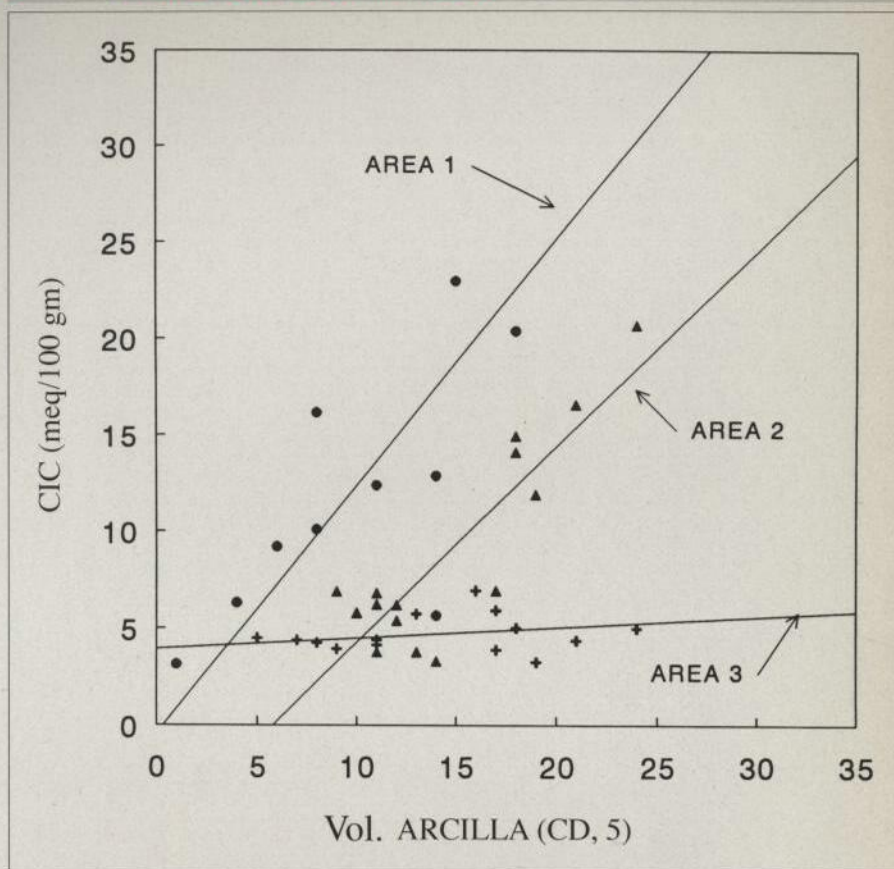
Tabla 3. Variaciones del tamaño de grano, Yacimiento Cañadón Minerales
(Nota: en todas las tablas, CD = Análisis de Corte Delgado)

TAMAÑO DE GRANO (CD mm)	PRODUCTIVO (n = 150)	IMPRODUCTIVO (n = 25)
ALTO	2.86	2.86
PROMEDIO	0.44	0.50
BAJO	0.04	0.02

Tabla 4. Porosidad Total Visual (porosidad >1 micrón), Yacimiento Cañadón Minerales

POROSIDAD	PRODUCTIVO (n = 150)	IMPRODUCTIVO (n = 25)
ALTO	39%	34%
PROMEDIO	21.8%	20.5%
BAJO	3%	8%

FIG.4 VARIACIONES AREALES EN LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO, YACIMIENTO CAÑADON MINERALES



te, el resultado de la diagénesis. Ellos se originan a través de 1) precipitación de arcillas en forma de recubrimiento y relleno de poros; 2) lixiviación de los componentes inestables de la roca y 3) la alteración *in situ* de la masa de la roca. Los tipos porales 5 a 7 son poros primarios, intergranulares.

La mayor parte de las areniscas contienen combinaciones variables de 5 o más de estos diferentes tipos de poros. Existen significativas diferencias entre las arenas productivas y no productivas. Las arenas no productivas contienen significativamente mayor microporosidad (tipo poral 1) que las areniscas productivas (Tabla 5). La cantidad de microporosidad en estas rocas puede ser muy alta (hasta un 30% del volumen total de la roca) debido a la presencia de arcilla caolínica de grano grueso de relleno de poros, y microcuarzo. Estos minerales están caracterizados por grandes volúmenes de porosidad intercrystalina. Esta porosidad puede estar rellena por hidrocarburos, pero debido al pequeño tamaño de los poros y de las gargantas de los poros, la permeabilidad es baja. Debido a la combinación de baja permeabilidad, baja presión y a menudo de hidrocarburos viscosos, tales zonas no suelen producir.

La abundancia de poros de disolución secundaria (tipos porales 2, 3 y 4) es similar en las rocas productivas y en las no productivas. Algunos de estos poros son muy grandes (tipo poral 4) tienen un diámetro que varía de 45 a 150 micrones). Estos poros no influyen significativamente la producción ya que, a menudo, están interconectados a través de gargantas estrechas (< diámetro de 1 micrón). De esta forma los poros más grandes no son necesariamente los más productivos.

Las arenas productivas presentan casi el doble de volumen poral intergranular primario (Tipos Porales 5, 6 y 7) que las arenas no productivas. En realidad nuestro análisis sugiere que la productividad está estrechamente relacionada a la abundancia de poros primarios mayores de 15 micrones (tipos porales 6 y 7). De modo particular el tipo poral 7 parece tener una influencia desproporcionadamente grande sobre la productividad (Tabla 5). Los poros primarios intergranulares están interconectados a través de gargantas relativamente anchas (la relación entre el tamaño del cuerpo del poro, y el tamaño de la garganta del poro en los poros primarios de este yacimiento es de 8:1).

En las areniscas del Yacimiento Cañadón Minerales la presencia de poros grandes, de saturación de hidrocarburos y de valores de

porosidad en exceso del 20% no garantiza la productividad. La mayoría de los operadores en la Cuenca del Golfo de San Jorge emplean la inspección visual de los testigos laterales para estimar la saturación y la porosidad. Resulta obvio de este análisis de geometría poral que buenas características de saturación, poros grandes y una elevada porosidad no garantizan productividad.

En este yacimiento, el comportamiento del reservorio está estrechamente relacionado al tipo específico de poro presente en la roca. En las rocas potencialmente productivas, los tipos de poros son más importantes que la porosidad total para ayudar a predecir la productividad. Las predicciones de productividad resultan significativamente facilitadas por un conocimiento detallado de la geometría poral.

La información respecto de la geometría de poros se emplea no solamente para seleccionar las zonas para la terminación, sino también para identificar zonas dañadas (candidatas para re-terminaciones). Por ejemplo, las cuatro zonas mostradas en la Figura 3, tienen valores de porosidad aceptable, buenas características de saturación e indicaciones de permeabilidad del perfilaje. Los análisis de la geometría de poros revela que la zona a 1.995m está dominada por microporos, y la historia de producción indica que tales zonas no son eco-

nómicas en este yacimiento. Como resultado, esta zona no fue ensayada a pesar de su alta porosidad total. Las zonas a 1.003m, 1.209m y 1.248m fueron ensayadas. La zona a 1.003m produjo 1.200 l/h de petróleo. Las otras dos zonas no produjeron. Los análisis de geometría poral revelaron que la estructura poral de la zona a 1.248m contiene pequeños volúmenes de los tipos porales potencialmente productivos (efectivos) (comparar Figura 3 y Tabla 5). Como resultado, esta zona no fue seleccionada para re-terminación. Las características de la geometría poral de la zona a 1.209m fueron empleadas como base de selección de esta zona para su re-terminación. La re-terminación resultó exitosa (1.000 l/h).

El análisis de geometría poral, por lo tanto, provee una base científica para la selección de candidatos a ser re-terminados en el Yacimiento Cañadón Minerales. Los candidatos para re-terminación no son seleccionados solamente sobre la base de su alta porosidad y sus características en los perfiles. La proporción volumétrica de los tipos porales en la roca se emplea como un criterio fundamental de selección. Este procedimiento analítico reduce significativamente los gastos generales de terminación.

Volumen de Arcilla (V arcilla)

El rango de volúmenes medidos de arci-

Tabla 5. Variación en la proporción de tipos porales, Yacimiento Cañadón Minerales. (Tipos porales expresados como una proporción del volumen total de poros.)

TIPOS PORALES	PRODUCTIVOS (n = 150)	IMPRODUCTIVOS (n = 25)
Tipo poral 1	34%	55%
Tipo poral 2	9%	8%
Tipo poral 3	8%	8%
Tipo poral 4	5%	5%
Tipo poral 5	8%	5%
Tipo poral 6	17%	11%
Tipo poral 7	19%	8%

Tabla 6. Volumen de Arcilla (Varcilla), Yacimiento Cañadón Minerales. (Nota: volumen de arcilla medido por recuento de puntos en corte delgado.)

ARCILLA (CD %)	PRODUCTIVOS (n = 150)	IMPRODUCTIVOS (n = 25)
ALTO	35%	34%
PROMEDIO	15%	19%
BAJO	1%	3%

Tabla 7. Abundancia de cemento autigénico, Yacimiento Cañadón Minerales

CEMENTO (CD %)	PRODUCTIVOS (n = 150)	IMPRODUCTIVOS (n = 25)
CARBONATOS	3%	4%
ARCILLAS	8%	12%

lla (a partir de análisis de cortes delgados) es similar en las areniscas productivas y las no productivas del yacimiento del Cañadón Minerales (Tabla 6). El volumen promedio de arcilla es mayor en las rocas no productivas, pero la diferencia entre las rocas productivas (15% V arcilla) y las rocas no productivas (19% V arcilla) no es en realidad tan grande. Ciertamente la diferencia no es lo suficientemente grande como para discriminar con precisión utilizando la respuesta de las características de los perfiles. Aquí por lo tanto, hay otra fuente de dificultades para una efectiva evaluación de formación. Los perfiles de pozo miden la arcilla total, pero la distribución de arcillas es más importante que el volumen total de arcillas en este yacimiento. La mayor parte de la arcilla en las areniscas potencialmente productivas

de este yacimiento aparece como arcillas autigénicas dispersas.

Cemento autigénico

Los cementos autigénicos son precipitados en los sistemas porales, y de esta manera influyen la permeabilidad y la productividad. En el Yacimiento Cañadón Minerales, la arcilla autigénica dispersa es el cemento dominante. Las rocas no productivas tienen proporciones significativamente mayores de arcilla autigénica que las rocas productivas (Tabla 7). La caolinita es la variedad dominante de arcilla. Aparece como cristales muy grandes (de 25 micrones de diámetro) que están empaquetados en forma de librillos hasta de 100 micrones de largo. Un abundante espacio intercrystalino resulta en significativos volúmenes de microporosidad en las

areniscas caolínificas. La distribución de los componentes de las arcillas es más importante que el volumen total de arcilla como elemento de predicción de la productividad.

El cemento de carbonatos no es abundante en las potenciales rocas reservorio del Yacimiento Cañadón Minerales (Tabla 7). Diferentes variedades de carbonatos aparecen en el Yacimiento, incluyendo calcita, dolomita y siderita. Excepto en delgadas capas de baja permeabilidad la influencia de estos carbonatos sobre la productividad es insignificante.

Capacidad de Intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue empleada para ayudar a la evaluación de la saturación a partir de los perfiles debido a la presencia de aguas congénitas dulces a salobres en estas areniscas arcillosas. La capacidad de intercambio catiónico "es la propiedad más importante de las arcillas en la evaluación de los perfiles". El valor del CIC es función del volumen de arcilla y del tipo de arcilla. Cuanto más alto sea el valor del CIC, menor será el factor de formación a cualquier salinidad. De esta forma los cálculos de saturación de agua de perfiles son significativamente afectados por el CIC. Los valores precisos de CIC requieren de condiciones experimentales cuidadosamente controladas y resultan particularmente importantes en las arenas arcillosas, litológicamente complejas de la Cuenca del Golfo de San Jorge.

Debido a las variaciones en el contenido de arcilla y el tipo de arcilla, los valores del CIC de las arenas varían significativamente. La mayor parte de los componentes de la arcilla de las areniscas potencialmente productivas en este yacimiento aparecen como minerales de arcilla. De esta forma los valores CIC están directamente relacionados con el volumen total de arcilla. Varias relaciones diferentes existen en el Yacimiento de Cañadón Minerales (Figura 4). Estas relaciones están controladas por la geografía (el área dentro del Yacimiento).

Las arenas de diferentes áreas geográficas tienen diferentes relaciones volumétricas CIC/arcilla. La discriminación entre las arenas portadoras de hidrocarburos y de agua dulce en este yacimiento requieren del uso de valores correctos de CIC para la evaluación de los perfiles.

MECANISMOS DE DAÑO DE FORMACION

Varios mecanismos de daño de formación presentes en el Yacimiento Cañadón

Minerales son el resultado directo de factores geológicos (composición de la roca y estructura poral). Estos mecanismos incluyen:

Producción de arena

Las areniscas con valores altos de porosidad (generalmente > 30%) y elevada permeabilidad son inconsolidadas. Estas rocas carecen de cantidades significativas de cemento autigénico y están caracterizadas por un empaquetamiento suelto de los granos. Tales intervalos producen arena. Para controlar este problema, un programa de *gravel pack* ha sido instituido en el Yacimiento. El *gravel packing* resulta costoso, y debe ser diseñado específicamente para las rocas de alta permeabilidad.

Como se ha hecho notar anteriormente en este trabajo, la alta porosidad de este yacimiento no necesariamente implica altas permeabilidades. Por lo tanto resulta importante diseñar el *gravel pack* específicamente para los intervalos que presentan potencial para la producción de arena (zonas de alta permeabilidad). Los análisis de geometría poral pueden resultar particularmente útiles en este proceso de selección.

Finos migratorios

El sistema de poros de las areniscas de Cañadón Minerales contiene a menudo significativas proporciones de finos de caolinita migratoria. La caolinita autigénica aparece como cristales muy grandes dentro del sistema poral. Estos están débilmente agregados el uno al otro y a las paredes de los poros. La migración de estos cristales puede producirse bajo condiciones de cuasi-turbulencia en las cercanías del pozo durante la perforación, resultando en una pérdida de permeabilidad. Los finos de caolinita migratoria pueden ser estabilizados con productos químicos y técnicas fácilmente disponibles⁶.

Arcillas expansivas

Las arcillas expansivas (smectita e illita-smectita) aparecen en las areniscas del reservorio del Yacimiento de Cañadón Minerales. Estas arcillas aparecen más comúnmente como granos discretos (clastos de lutita estructural.) Como resultado, la mayor parte de las arcillas expansivas no aparecen en el sistema poral y por lo tanto no tienen influencia sobre la productividad.

Sensibilidad a los Ácidos

Las areniscas en el Yacimiento tienen solamente volúmenes menores de minerales portadores de hierro y calcio (calcita, sideri-

ta, dolomita) y cantidades menores de feldespato ortoclásico. Como resultado las areniscas tienen poca o ninguna reacción adversa con las mezclas comúnmente usadas de los ácidos HCl y HF.

Antes de la implementación de este estudio petrográfico, el daño de formación era considerado como un problema mayor en el Yacimiento Cañadón Minerales. Los resultados del presente estudio han demostrado que la incapacidad para fluir se debe más a menudo a la baja calidad del reservorio que al daño de formación. En algunas oportunidades (Figura 3) el daño de formación ha transformado una arenisca productiva en otra arenisca no productiva. Pero tales instancias no son comunes.

ESTRATEGIAS DE EVALUACION Y TERMINACION

La identificación rápida y exitosa de las zonas productivas, las zonas dañadas y las zonas para re-terminación en este Yacimiento, se basa en la adquisición e integración de datos petrográficos y de perfilaje. Se han establecido los siguientes procedimientos:

1) Identificar las zonas productivas utilizando los métodos tradicionales de interpretación mediante una rápida inspección de los perfiles.

2) Recuperar testigos laterales en las zonas potencialmente productivas.

3) Efectuar análisis petrográficos sobre 1 a 3 testigos por cuerpo de arena (el número real de muestras dependerá del espesor y de la heterogeneidad según lo indiquen los perfiles). Generar datos numéricos petrográficos a partir de cortes delgados, geometría poral y de los análisis de la CIC, apoyados (si fuere necesario) por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

4) Usar los resultados de los análisis petrográficos para ayudar al análisis de perfiles y seleccionar zonas específicas para terminación.

5) Terminar y ensayar el pozo.

6) Seleccionar zonas para re-terminación en base a la información petrográfica (en especial la geometría de poros y los análisis CIC). Los análisis petrográficos, la interpretación de datos y la selección de zonas para ser punzadas serán llevadas a cabo en un tiempo mínimo, mientras se espera la terminación.

Antes de la implementación de los procedimientos señalados más arriba, los candidatos a ser terminados fueron seleccionados sobre la base de una inspección visual de los testigos laterales y el análisis tradicional de perfiles (el método de rutina de

evaluación de formaciones en la cuenca del Golfo de San Jorge). El éxito de las terminaciones era del 50% con anterioridad a la implementación de estos procedimientos (solamente un 50% de las zonas perforadas producían hidrocarburos). La implementación de los seis procedimientos listados ha resultado en más de un 85% de éxitos en la terminación de zonas productivas potenciales en el Yacimiento de Cañadón Minerales.

CONCLUSIONES

Las areniscas potencialmente productivas del Cretácico Superior de la cuenca del Golfo de San Jorge exhiben un cambio en la composición según la posición estratigráfica. Las areniscas son volcánogénicas y están caracterizadas por una mineralogía y estructura poral complejas. La evaluación de formación resulta difícil debido a que la productividad no es solamente una función de la porosidad y del volumen de arcilla. El comportamiento del reservorio está fuertemente controlado por la geometría poral, la distribución de arcillas y la mineralogía de éstas. La implementación de las estrategias de evaluación de formaciones basada en el análisis integrado de la información petrográfica y de perfiles ha resultado en una importante reducción de costos, gracias al mejoramiento de la relación éxito/fracaso en las terminaciones.

REFERENCIAS

1. Fitzgerald, M.G. Mitchum, R.M. Jr, Uliana, M.A. and Biddle, K. T.: Evolution of the San Jorge Basin, Argentina, *Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol.* (1990) v. 74, 879-920.
2. Ehrlich, R. and Davies, D.K.: Image analysis of pore geometry: relationship to reservoir engineering and modeling. SPE Paper 19054, Gas Technology Symposium, Dallas, (1989) 15-30.
3. Cleland W.D. and Fens, T.W.: Automated rock characterization with SEM/Image analysis techniques, SPE Formation Evaluation, (1991) v. 6, 437-443.
4. Dewan, J.T.: *Essentials of Modern Open-Hole Log Interpretation*. PennWell Publishing. Tulsa, (1983) 361 p.
5. Cathoun, J.C.: *Fundamentals of Reservoir Engineering*. Univ. Oklahoma Press, Norman, (1960) 426 p.
6. Aimon, W.R. and Davies, D.K.: Formation damage and the crystal chemistry of clays, in *Clays and the Resource Geologist*, Min. Assoc. Canada Short Course, Longstaffe F.J., editor, (1981) 81-103.