

Efecto de la diagénesis sobre las propiedades físicas del almacén de petróleo de la Formación Napo del Cretácico Inferior de la Cuenca Oriente, Ecuador

J. Estupiñán y R. Marfil

Dpto. de Petrología y Geoquímica, Fac. de Geología, Univ. Complutense de Madrid, 28040 Madrid. jestupin@geo.ucm.es, marfil@geo.ucm.es

ABSTRACT

The Napo Formation of the Cenomaniense age is an important reservoir-sandstone in the Oriente basin of Ecuador. It displays higher porosity values (average 21%) compared to other reservoir in the region. The sandstone are fine to coarse grained and moderately to well sorted quartzarenites (average $Qt_{93,2} F_{6,1} L_{0,7}$). Quartz cement is the dominant porosity reducing agent in this reservoir but other factors such as the glauconite, other clay intraclastos, grain-coating chlorite, pyrite, early siderite, mesodiagenetic Fe-dolomite-ankerite, kaolin, and pyrrhotite also play a critical role. Intergranular volume IGV vs cement percentage, indicates that cementation is the predominant contributor to porosity loss in all the reservoir. Some intervals shows secondary porosity but it is of minor effect on the enhancement of porosity.

Key words: Reservoir sandstone, diagenesis, cementation, Lower Cretaceous, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Las areniscas de la Formación Napo de edad Cenomaniense en la Cuenca Oriente son un importante almacén de petróleo en Ecuador. La formación está localizada a profundidades de 1,5 km en la zona oriental y a más de 3 km en la zona occidental de la cuenca, presentando altos valores de porosidad (17,2% de media), comparados con otros almacenes en la misma región. Las areniscas pertenecen a varios ambientes deposicionales, desde fluviales, en el Este de la cuenca, a estuarios, en unos casos, y deltas con influencia de mareas, y ambientes claramente de plataforma marina, en el Oeste (Rivadeneira, 1999).

El objetivo de este estudio es demostrar la importancia de las modificaciones diagenéticas sobre los modelos de areniscas almacén de composición y procedencia similares pero de distintos ambientes deposicionales, evaluando la cementación frente a la compactación en la evolución de la porosidad.

METODOLOGÍA

Se han estudiado 24 muestras de areniscas tomadas en 14 pozos a profundidades entre 2.240 m y 3.000 m con temperaturas de formación entre 80 y 105 °C. Las técnicas utilizadas han sido petrografía convencional + CL, con tinciones de feldespatos y carbonatos, DRX y MEB. Asimismo, las muestras se analizaron geoquímicamente mediante microsonda electrónica con BSE incorporado para diferenciar la naturaleza de los cementos y sus zonaciones

composicionales. Previamente fueron eliminados los HC mediante repetidos lavados con diclorometano y acetona. Para el mejor estudio de la porosidad las muestras fueron impregnadas con una resina de tipo "epoxy" de coloración azul.

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las areniscas son cuarzoarenitas de grano fino a grueso, moderadamente a bien seleccionadas (media $Qt_{93,2} F_{6,1} L_{0,7}$). El cemento de cuarzo (14 a 22%) es el principal agente reductor de la porosidad primaria pero otros factores tales como la presencia de glauconita (max. 6,5%) y otros intraclastos arcillosos (max. 2%), *coatings* de clorita, pirita (0-2,3%), siderita con una media de 3,6%, dolomita-Fe y ankerita media 3,2%, caolín media 3,5%) y pirrotina, son también factores que afectan la calidad del reservorio.

El volumen intergranular IGV (Fig. 1), oscila entre 30 y 40. El rango de la pérdida de porosidad por compactación (COPL) varía entre 0,0 a 14,3, y el rango de la pérdida de porosidad por cementación (CEPL) oscila entre 15,7 y 35,0. El índice de compactación (I_{comp}) tiene valores entre 0,0 y 0,5. El alto valor del IGV sugiere que la cementación por cuarzo tuvo lugar a profundidad de enterramiento somera, donde se podría liberar cerca del 5% de cemento de cuarzo y el volumen de cemento de cuarzo precipitado para la profundidad en que se encuentra la Fm Napo, estaría entre 5 y 10% (Paxton *et al.*, 2002). Asimismo, la relación entre el cemento de cuarzo y la pérdida de sílice por compactación

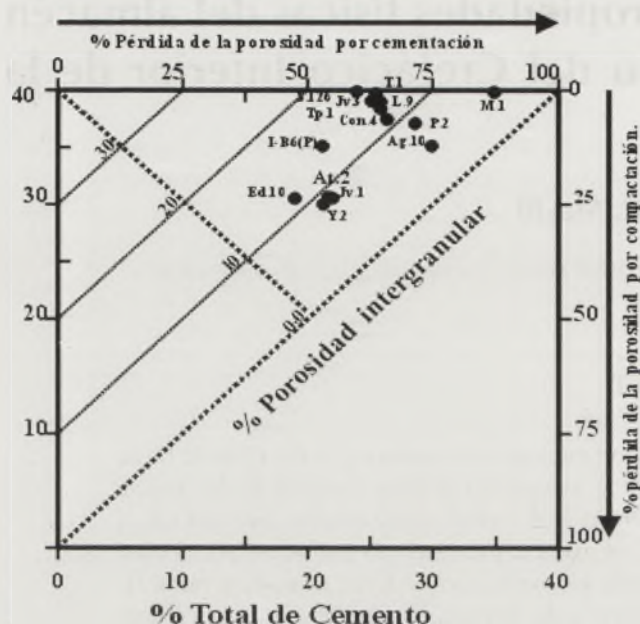


FIGURA 1. Volumen intergranular vs cemento, según Houseknecht (1987).

química indica que la mayor parte de la sílice es importada (Houseknecht, 1987; Paxton *et al.*, 2002) lo que se corrobora por los escasos contactos de disolución por presión en todas las muestras analizadas. La fuente principal para la sílice provendría de la alteración de los feldespatos a caolín y su reemplazamiento por calcita, y sobre todo por dolomita y siderita como se ha observado al MEB.

Los cementos carbonáticos se presentan como parches irregularmente repartidos lo que hace difícil predecir su control sobre las modificaciones diagenéticas. El cemento de siderita tiene una composición media entre 66,9 de $m\text{FeCO}_3$, 20,06 $m\text{MgCO}_3$ y de 0,66 $m\text{MnCO}_3$, denotando estos valores que la siderita tiene una composición de sideroplesita (5-30% $m\text{MgCO}_3$) la composición de la dolomita-Fe con una composición media de 15,8 $m\text{FeCO}_3$, 26,6 $m\text{MgCO}_3$ y 0,5 $m\text{MnCO}_3$, la ankerita tiene un promedio de 23,2 $m\text{FeCO}_3$, 23,2 $m\text{MgCO}_3$, 0,6 $m\text{MnCO}_3$, y la calcita con una composición media de 95,4 $m\text{CaCO}_3$, 2,1 $m\text{FeCO}_3$, 1,4 $m\text{MgCO}_3$ y 0,9 $m\text{MnCO}_3$ (Fig. 2).

La composición de los cementos carbonáticos ricos en Fe y de sideritas magnesianas revela que proceden de mezcla de aguas marinas y meteóricas (Lee y Boles, 1996), habiendo precipitado en la zona de descarboxilación térmica de la materia orgánica, a temperaturas próximas a 100°C ya que los cementos de siderita-Mg y de magnesita-Fe son los cementos más típicos de diagénesis de enterramiento a alta temperatura (Morad, 1998). Los cristales del cemento muestran una zonación cristalocímica, indicando que los fluidos involucrados en su precipitación fueron sucesivamente más magnesianos. Esta tendencia está relacionada, tanto con la disminución de la relación $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$



FIGURA 2. Composición geoquímica de cementos carbonáticos.

por la precipitación de pirita y siderita, como por la evolución de la roca madre rica en magnesio, entrando posteriormente éste en la red de la siderita a temperaturas mayores de 90°C (Mozley y Burns, 1993).

La secuencia diagenética deducida a partir de las observaciones al MEB, BSE y CL queda sintetizada en la figura 3. En la etapa “eodiagenética” se formarían los *clay rim* de clorita así como los framboides de pirita. En la etapa de “mesodiagénesis inmadura” tendría lugar la compactación de la glauconita y de los intraclastos arcillosos, precipitando la primera fase de siderita reemplazante de estos componentes.

En la etapa “semimadura” comenzaría la cementación de cuarzo, siendo seguido por cemento reemplazamiento de dolomita-Fe y siderita-Mg. Las relaciones texturales muestran que estos carbonatos reemplazaron a los cementos de cuarzo. En la etapa “madura” tendría lugar la disolución parcial de los cementos y reemplazamientos carbonáticos,

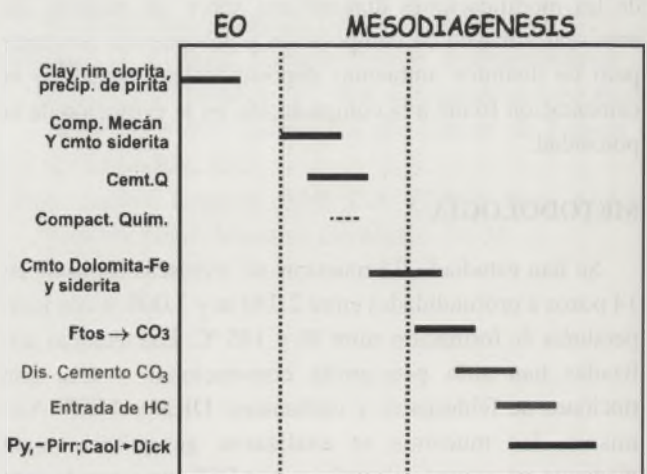


FIGURA 3. Secuencia cronológica de procesos diagenéticos.

en relación con la maduración térmica de la materia orgánica en las lutitas intercaladas. Este evento da lugar a un porcentaje de porosidad secundaria que oscila entre 2 y 13,3% aumentando el potencial del almacén (hasta 23,3% de porosidad total). Posteriormente, en esta misma etapa se produciría la llegada de los HC y la precipitación de abundante *pore-filling* de dickita y de pirita-pirrotina, así como la transformación de caolinita a dickita tal y como ocurre en otros almacenes a profundidades entre 2.000 y 3.000 m y con temperaturas y procesos similares (Marfil *et al.*, 2003).

Con todos los datos obtenidos se puede concluir que la formación Napo del oriente en Ecuador es un reservorio de buena calidad debido a la mayor influencia de la cementación sobre la compactación y que los cuerpos de areniscas de mayor espesor y con mejor calidad como almacén se encuentran en la parte central de la cuenca de ambiente de sedimentación transicional.

La cementación es el proceso diagenético que ha controlado la porosidad, teniendo la compactación una mínima influencia. El cemento de cuarzo junto con el de caolín son los eventos diagenéticos de mayor importancia en todo el reservorio y son causantes de cerrar parcialmente la porosidad primaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a R. Santacruz, de la Dirección Nacional de Hidrocarburos, M. Rivera, Andy Crossley, de Occidental Petroleum por facilitar los testigos de perforación y estudios geológicos. A Marian Barajas del Dpto. de Petrología y Geoquímica de la UCM por su colaboración en la realización de las láminas delgadas.

REFERENCIAS

- Houseknecht, D.W. (1987): Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstone. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 71(6): 633-642.
- Lee, Y.I. y Boles, J.R. (1996): Depositional Controls on carbonate cement in the San Joaquín Basin. En: *Siliciclastic Diagenesis and Fluid Flow: Concepts and applications* (L. Crossey, B. Loucks y M. Totten, Eds.). Special Publications of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, 55: 13-22.
- Marfil, R., Delgado, A., Rossi, C., La Iglesia, A. y Ramseyer, K. (2003): Origin and diagenetic evolution of kaolin in reservoir sandstone and associated shales of the Jurassic and Cretaceous, Salam Field, Western Desert (Egypt). *International Association of Sedimentology, Special Publication*, 34: 319-342.
- Morad, S. (1998): Carbonate Cementation in Sandstone. *Special Publications of the International Association of Sedimentology, Blackwell Science, Oxford*, 26: 1-26.
- Mozley, P.S. y Burns, I.K. (1993): Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: an overview. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63: 73-83.
- Paxton, S.T., Szobo, J.O., Ajdukiewicz, J.M. y Klimentidis R.E. (2002): Construction of intergranular volume compaction curve for evaluating and predicting compaction and porosity loss in rigid-grain sandstone reservoir. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 86(12): 2051-2067.
- Rivadeneira, M.V. (1999): *La Cuenca Oriente: Estilo Tectónico, Etapas de deformación y Características Geológicas de los Principales Campos de Petroproducción*. Petroproducción – IRD (EX ORSTOM): 88 p.