

# Petrografía y porosidad de areniscas portadoras de petróleo. Formación Bajo Barreal (Cretácico), Cuenca Golfo San Jorge, Argentina

Ibañez L. M.<sup>1,2</sup>, R. Ovejero<sup>2</sup>, S. M. Georgieff<sup>2,3</sup>, L. Ferreira<sup>4</sup>, G. Bossi†

<sup>1</sup> Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina. lucia\_ibanez@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

<sup>4</sup> YPF SA, Av Libertador 520, km 3, (9000) Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.

► **Resumen** — Con el objeto de profundizar en el conocimiento sobre la migración de los fluidos y las posibilidades de recuperación de hidrocarburos, se realizaron estudios petrográficos y de porosidad en areniscas fluviales cretácicas de la sección superior de la Formación Bajo Barreal en el yacimiento Cerro Guadal Norte, cuenca Golfo San Jorge, Santa Cruz, Argentina.

La sección superior de la Formación Bajo Barreal está compuesta por areniscas finas y medias con estratificación cruzada o planar, maciza y laminación ondulítica. En el tope de los cuerpos pueden desarrollarse niveles limolíticos con laminación paralela.

Los depósitos están bien expuestos alrededor de la laguna La Sin Nombre, donde se describieron dos perfiles estratigráficos. En los cuerpos con exposición lateral completa se realizaron descripciones arquitecturales y perfiles estratigráficos de detalle cada 10 m.

Se tomaron 49 muestras orientadas (al norte magnético) de areniscas medias. A partir de cada muestra se prepararon dos cortes petrográficos, perpendiculares entre sí, impregnados con resina epoxi azul.

Las areniscas son principalmente litarenitas feldespáticas. También se identificaron litarenitas y grauvacas. Casi todas las areniscas son submaduras. La porosidad media es aproximadamente del 18%, de distribución homogénea a heterogénea. Contienen proporciones variables de cementos arcillosos, ceolíticos, silíceos y carbonáticos.

Se observa un incremento del contenido de cemento ceolítico hacia el techo de los cuerpos, mientras que los cementos arcillosos son predominantes hacia la base. La distribución de la porosidad tiene un diseño más o menos constante; disminuye lateralmente desde los canales principales hacia las barras adyacentes; también decrece desde la base hacia el techo de las barras donde son frecuentes los depósitos de canalizaciones menores o «cross bar-channel» y en la dirección aguas abajo.

**Palabras clave:** Petrografía, porosidad, areniscas fluviales portadoras de petróleo, Cretácico Superior, Cuenca Golfo de San Jorge, Argentina.

► **Abstract** — “Petrography and porosity of hydrocarbon bearing sandstones. Bajo Barreal Formation (Cretaceous), Golfo San Jorge basin, Argentina”. Petrography and porosity studies were performed to improve the knowledge about fluid migrations and additional hydrocarbon recovery projects throughout Cretaceous fluvial sandstones of the Bajo Barreal Formation Upper section in the Cerro Guadal Norte oil field (Golfo San Jorge Basin, Santa Cruz, Argentina).

The Upper section of the Bajo Barreal Formation is composed of fine and medium sandstones which have mainly cross but planar stratification, massive and ripple lamination were also recorded. Occasionally, light brown siltstones with parallel lamination are observed at the top of the sandstone bodies.

Extensive fluvial channel belt deposits are well exposed around La Sin Nombre pond, where two stratigraphic logs were described. In addition, sedimentary architectural descriptions and short detailed lateral logs, separated by tens of meters each, were recorded.

Forty nine north-oriented medium sandstones were sampled, and two blue epoxy impregnated petrographic thin sections were prepared for every sample, one parallel and the other normal to the North.

The sandstones are mainly feldspar litharenites although litharenites and feldspar wackes were also identified. Most of them are submature and the mean porosity is around 18 % varying from homogeneous to heterogeneous. Clayey, zeolitic, siliceous and carbonatic cements are present in different proportions.

A comparison among petrography, porosity and architectural studies indicates an increase of zeolitic cements towards the top of the sandstone bodies, whereas the clayey cements are predominant at the base of the sandstone deposits. Furthermore, porosity decreases from main channel to adjacent bars and cross over bar-channel. In the bar-channel deposit, porosity decreases in both downstream and upward.

**Keywords:** Petrography, porosity, oil bearing sandstones fluvial sandstones, Upper Cretaceous, San Jorge Basin, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de areniscas presentan variaciones en su porosidad dependiendo de diferentes factores, como su fábrica, contenido de matriz, tipos de cementos, estructuras sedimentarias, dirección de paleocorrientes, estadio diagenético alcanzado, y/o la historia tectónica de la cuenca. Estas variaciones de porosidad también afectan la permeabilidad y consecuentemente tendrán influencia en la migración de los fluidos.

La porosidad secundaria constituye la mayoría, sino la totalidad, de la porosidad efectiva de los reservorios de hidrocarburos en areniscas (Schmidt and McDonald, 1979 a and b). Es por eso que su reconocimiento es de suma importancia, a la vez que aporta datos sobre la historia diagenética de la secuencia estudiada.

La integración de las variaciones de facies (laterales y temporales) y los cambios petrológicos asociados puede resultar una herramienta fundamental al momento de reconstruir el modelo de migración de fluidos en un cuerpo psamítico.

Otro aspecto importante a reconocer en el análisis petrográfico es la cementación, su composición y disposición en los poros de las rocas.

El objetivo de este trabajo es la caracterización petrográfica de las areniscas portadoras de petróleo de la sección superior de la Formación Bajo Barreal con la clasificación del sistema de poros según su dimensión, diseño y morfología. Los procesos de autigé-

nesis y generación de cementos (Ibañez et al., 2010) regularon la porosidad durante la diagénesis, ya sea obliterándola, preservando la porosidad primaria o generando porosidad secundaria.

La Formación Bajo Barreal ha sido la productora por excelencia en la cuenca del Golfo San Jorge (Fígari et al., 2002).

## MARCO GEOLÓGICO

La cuenca del Golfo San Jorge, figura 1, se desarrolló entre el Triásico y el Cretácico Temprano y está compuesta de grabens y hemigrabens orientados en dirección noroeste-sudeste. En el Cretácico Temprano finalizó el episodio de fallamiento normal y comenzó la fase de «sag» que se mantuvo durante el resto del Cretácico (Uliana y Biddle, 1987; Fitzgerald et al., 1990). Asociados a la generación del espacio sedimentario durante el Cretácico se produjeron movimientos de transcurrancia que modificaron localmente los depocentros y generaron cambios al modelo clásico de «rifting» y «sag» (Sosa Gómez et al., 2008).

En el Paleógeno, asociado al levantamiento regional de los Andes, se inició la compresión y elevación de la cuenca. Esta inversión tectónica fue la formadora de la faja plegada de la sierra de San Bernardo (Homoc et al., 1995; Peroni et al., 1995) y favoreció la migración de hidrocarburos y la formación de trampas estructurales/estratigráficas (Hechem, 1994; Homoc et al., 1995; Peroni et al., 1995).

Los afloramientos corresponden al Cretácico del Grupo Chubut, con edades entre los 112 y alrededor de 71 Ma (Fitzgerald *et al.*, 1990; Archangelsky *et al.*, 1994) y espesores entre 500 y 2000 m (Sciutto, 1981; Hechem *et al.*, 1990; Peroni *et al.*, 1995). El Grupo está integrado, de abajo hacia arriba, por las Formaciones Pozo D-129, Castillo y Bajo Barreal. Estas unidades a su vez son equivalentes a Mina del Carmen, Cañadón Seco y Meseta Espinosa en el flanco sur y a Mina

del Carmen, Comodoro Rivadavia y El Trébol en el flanco norte de la cuenca. En algunos lugares, como el codo del río Senguerr, Cerro Ballena y Cerro Guadal Norte, el espacio de acomodación varía de acuerdo a la actividad de fallas sinsedimentarias transtensivas y transpresivas (Georgieff y Di Benedetto, 2005; Richter *et al.*, 2005, 2009; Sosa Gómez *et al.*, 2008; Georgieff *et al.*, 2008). Los afloramientos se disponen en sentido Norte – Sur y el Cerro Guadal propiamente

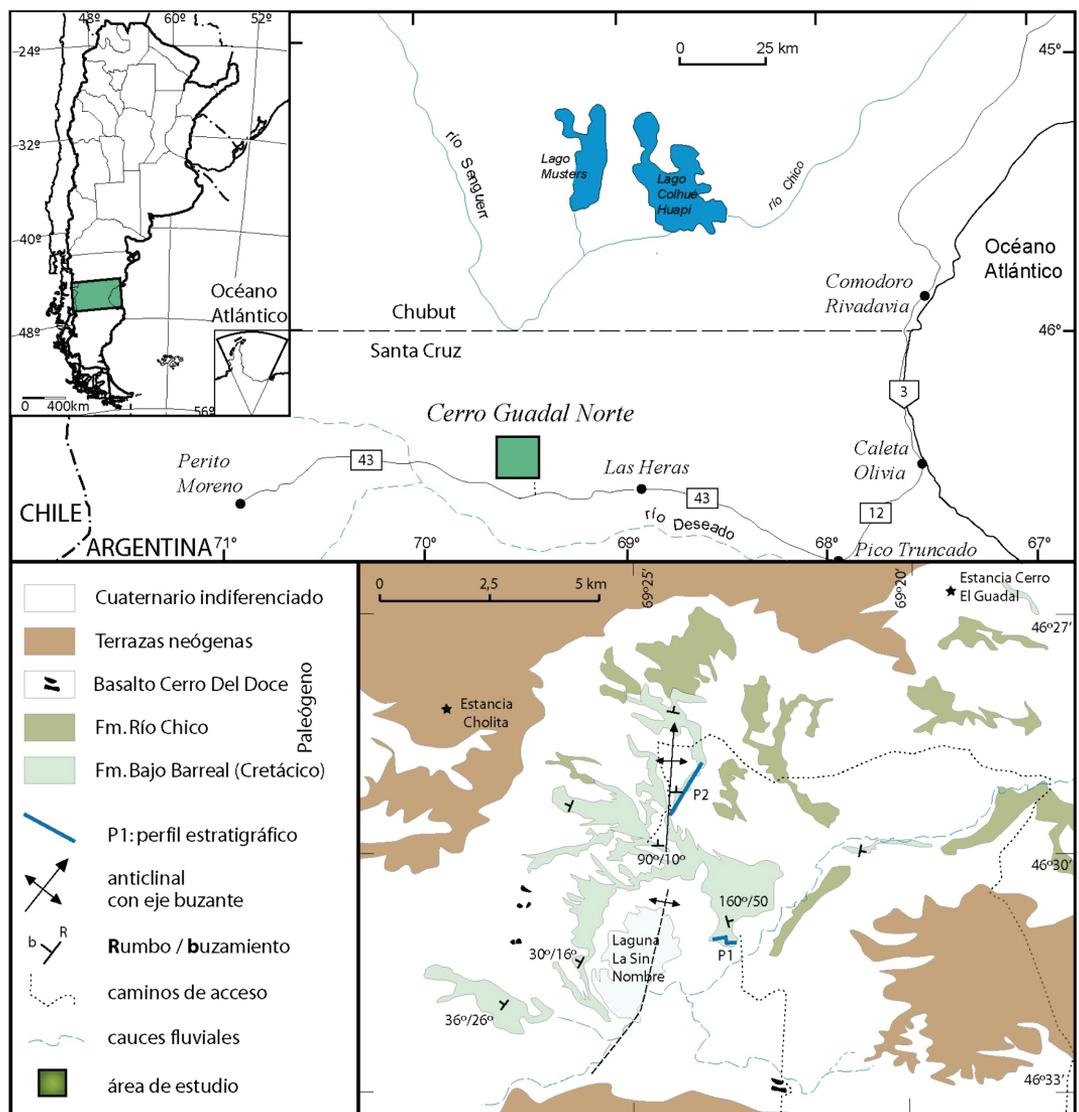


Figura 1. Mapas de ubicación y geológico de la Cuenca Golfo de San Jorge (CGSJ). Ubicación de los perfiles 1 y 2.

dicho se encuentra al Noreste del área. Los afloramientos se encuentran en barrancas bajas sobre los márgenes de arroyos temporarios, en pequeñas lomadas y alrededor de la laguna La Sin Nombre.

Los estratos están compuestos por areniscas y pelitas con abundante aporte volcánico proveniente del Oeste. Los cuerpos de arenisca de la Formación Bajo Barreal pueden superar los 15 m de espesor con un promedio de entre 2 y 4 m. Los anchos de los cuerpos estimados perpendiculares a la dirección de elongación son muy variables, entre varias centenas de metros a kilómetros (Fitzgerald *et al.*, 1990; Bridge y Georgieff, 1997; Bridge *et al.*, 2000). La proporción de areniscas en una sección tiene una importante variación espacial que se incrementa con el espesor. Las mayores proporciones de arenisca pueden estar asociadas a fallas normales sinsedimentarias o al bloque bajo de una falla normal ciega (Sciutto, 1981; Fitzgerald *et al.*, 1990; Hechem, 1994).

En general, las sedimentitas de la Formación Bajo Barreal han sido interpretadas como depósitos de origen fluvial y lacustre, con un sistema fluvial proveniente del Oeste y un gran lago en el centro y Este de la cuenca. Las interpretaciones del ambiente de depositación varían de acuerdo al autor (Feruglio, 1949; Sciutto, 1981; Fitzgerald *et al.*, 1990; Rodríguez, 1992; Archangelsky *et al.*, 1994; Hechem, 1994; Peroni *et al.*, 1995). Hay una posible influencia de lóbulos o abanicos aluviales marginales en la cuenca con la presencia de sistemas axiales de fajas de canales con planicies de inundación y lagos adyacentes (Bridge y Georgieff, 1997). Si bien la dirección de orientación predominante de las fajas de canales fluviales es hacia el Este y Este-Sudeste, se han registrado aumentos de sinuosidad y cambios en la dirección del drenaje asociados a la actividad sinsedimentaria de las fallas (Georgieff y Di Benedetto, 2005; Georgieff *et al.*, 2008).

## METODOLOGÍA

Los perfiles estratigráficos descriptos en detalle (Perfil 1: 135,97 m; Perfil 2: 282, 8 m) están ubicados en el área del Yacimiento Cerro Guadal Norte a 50 km de Las Heras (provincia de Santa Cruz, figura 1). Su relevamiento ha permitido conocer la distribución vertical de las facies de areniscas y pelitas y situar con precisión los depósitos a estudiar en detalle mediante arquitectura sedimentaria.

Adicionalmente al perfil estratigráfico de la unidad, se realizaron estudios arquitecturales en dos fajas de canales; las que también fueron muestreadas lateralmente para estudiar y asociar las variaciones petrográficas (figura 2).

En cada perfil estratigráfico se tomaron muestras orientadas de los niveles de areniscas expuestos correspondientes a la Formación Bajo Barreal. Para definir las vías de migración y sus posibles variaciones espaciales, en cada muestra se realizaron dos cortes petrográficos perpendiculares entre sí, uno corresponde al plano de sedimentación y el otro corta la estructura sedimentaria en el plano vertical. Las muestras fueron impregnadas con resina epoxi azul por la friabilidad de la roca y para optimizar los estudios de los poros y la variación de la permeabilidad en dos planos. Las areniscas fueron clasificadas según Folk *et al.*, (1980). Los porcentajes se establecieron siguiendo la plantilla de comparación visual de Terry y Chilingar (1955). En los análisis, diagenético y de poro-permeabilidad, se clasificaron los poros siguiendo un criterio de tamaño y forma. Según la morfología se han diferenciado cuatro tipos principales de poros (12 subtipos básicos, figura 3): compactos (C1, C2, C3), alargados (L1, L2 y L3), ramificados (R1, R2 y R3) y estrechos (E1, E2, E3), correspondiendo cada número a un tamaño de poro definido (1: microporos, menores a 0,0625mm; 2: mesoporos, entre 0,0625 y 0,25 mm; 3: macroporos, mayores a 0,25mm), que pueden presentarse aislados o también interconectados. La porosidad ha sido determinada analizando dos cortes del-



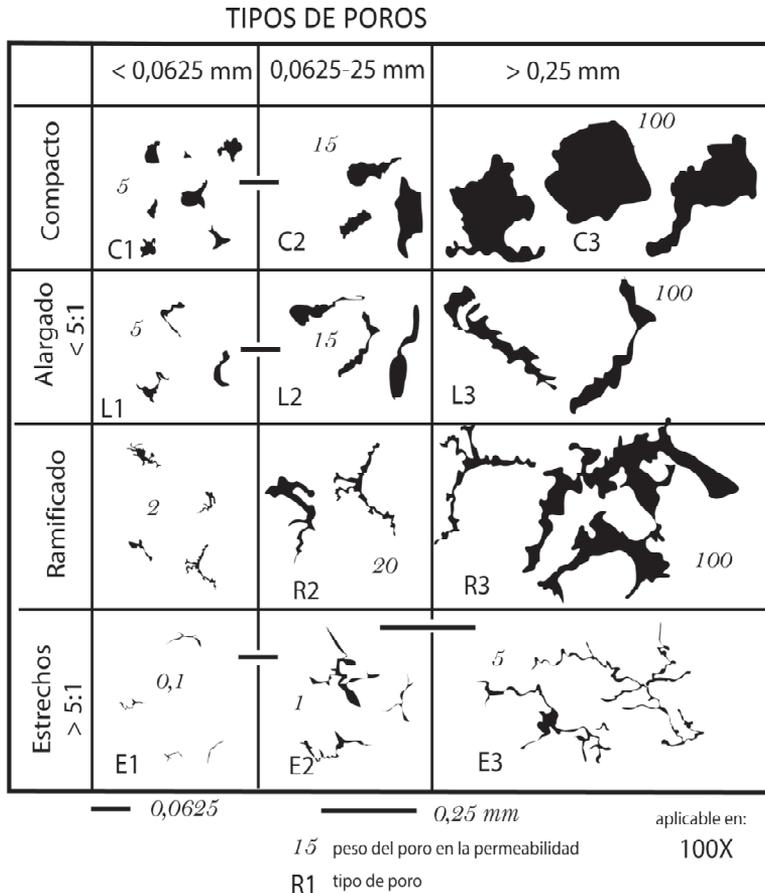
gados, normales entre sí, en cada arenisca, impregnados con resina azul para una óptima visualización del tipo e interconexión entre los poros. En este trabajo se propone un sistema para la identificación y la clasificación de los poros según su morfología y tamaño. El porcentaje de porosidad presente se ha determinado mediante plantillas de comparación visual.

RESULTADOS

Los depósitos del área de estudio fueron asignados a la Formación Bajo Barreal por Panza y Nullo (1994) y su pertenencia fue confirmada por correlación entre superficie y datos sísmicos de subsuelo (Sosa Gómez *et*

*al.*, 2008). Los afloramientos muestran los cuerpos de areniscas con una exposición lateral completa; verticalmente, de acuerdo a los perfiles el número de fajas de canales descriptas varían de 16 a 22.

La correlación entre los perfiles estratigráficos realizados muestra una superposición parcial entre los perfiles 1 y 2, figura 4. Sin embargo, la dirección de paleocorrientes, en general hacia el ESE, indica que los cuerpos de areniscas son contemporáneos, aunque no en el sentido de la corriente sino lateralmente, por lo que se observan variaciones en la distribución vertical de las facies y en la arquitectura de los cuerpos de areniscas.



**Figura 3.** Propuesta de clasificación de los tipos de porosidad según la forma y el tamaño de los poros. 15: grado de influencia del poro sobre la permeabilidad. R3: tipo de poro.

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA  
DE LAS ARENSICAS DE LA FORMACIÓN  
BAJO BARREAL

Los cuerpos de canal de los perfiles estudiados están integrados por areniscas con fuerte impronta feldespática y lítica, figura 5, con presencia subordinada de wackes en el perfil 1.

Se identificaron tres tipos litológicos. En el perfil 1 dominan las litarenitas feldespáticas (66,66%) sobre las litarenitas (25%). En el perfil 2 la presencia de las litarenitas feldespáticas alcanza el 75%, mientras que las litarenitas llegan al 16,66%.

En ambos perfiles el contenido de wackes es similar (aproximadamente 8,33%). En el perfil 1 se encuentran hacia la base y en el 2 hacia el techo.

El fuerte aporte volcánico (con más del 40% de fragmentos lávicos y piroclásticos) a la sedimentación clástica normal de la Formación Bajo Barreal produjo una modificación composicional de las arenas, dando como resultado la depositación de litarenitas clasificadas como litarenitas volcánicas, con variación en el contenido de cuarzo entre 7 y 35 % para el perfil 1 y entre 11 y 39 % para el perfil 2.

En el perfil 1 la moda de las arenitas muestra valores promedio de feldespato ( $F = 23,35\%$ ) y cuarzo ( $Q = 18,82\%$ ) con claro predominio de los fragmentos líticos ( $L = 57,84\%$ ). Entre las litarenitas feldespáticas (66,66%) la relación fragmentos líticos / feldespatos es menor a 3 y este valor aumenta de base a techo. En las litarenitas (25%) la relación fragmentos líticos / feldespatos siempre es superior a 3 y también aumenta de base a techo. Los feldespatos más abundantes son las plagioclasas. Los fragmentos de rocas son esencialmente volcánicos con escaso aporte de rocas metamórficas (esquistos y filitas) y de rocas graníticas (con aporte más importante hacia el techo). El contenido promedio de cuarzo es muy cercano al contenido de feldespatos ( $Q = 17,77\%$  y  $F = 16,20\%$ ) en las litarenitas mientras que el contenido promedio de feldespatos en las litarenitas feldespáticas ( $F = 26,98\%$ ) es superior al contenido promedio de cuarzo ( $Q = 18,25\%$ ).

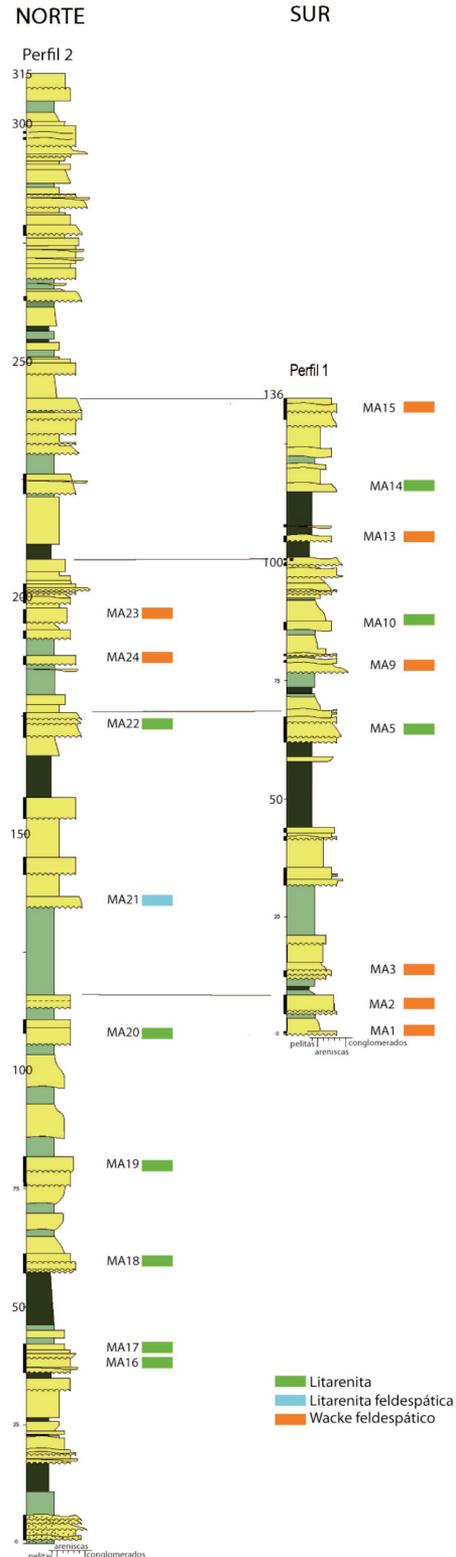


Figura 4. Correlación entre los perfiles 1 y 2.

En el perfil 2 los contenidos promedio de las arenitas son: F= 23,15%; Q= 22,64% y L= 54,21%.

Las litarenitas feldespáticas alcanzan el 75% y si bien la relación fragmentos líticos / feldespatos es menor a 3, presenta una variación, de base a techo, donde el sector medio presenta los valores más bajos y la base y el techo los más altos, cercanos a 3. Las litarenitas (16,66%) solamente están presentes en la sección inferior de la unidad. Las plagioclasas son los feldespatos excluyentes. Los fragmentos de rocas son esencialmente volcánicos reconociéndose un aporte mayor de fragmentos metamórficos y metasedimentarios en la sección media. A diferencia del perfil 1, los contenidos promedio de cuarzo ( $Q_m=26,65\%$ ) y de feldespatos ( $F=24,48\%$ ) son muy cercanos en las litarenitas feldespáticas, mientras que la diferencia entre ambos componentes ( $Q_m=22,23\%$  y  $F=13,76\%$ ) es mayor en las litarenitas, correspondiendo el menor valor al contenido de feldespatos.

## 1. ENTRAMADO

*1a. Fragmentos líticos.*— Es mayoritaria la presencia de fragmentos líticos, entre los cuales predominan los de origen piroclástico (**Lsp**) y volcánico (**Lv**). Menos abundantes son los fragmentos sedimentarios clásticos (**Ls**). De modo subordinado se han observado fragmentos de metamorfitas (**Lm**) y fragmentos plutónicos (**Lp**). Lámina 1.

El aporte piroclástico (Lsp) está representado por fragmentos pumíceos y de vidrio devitrificado con bordes redondeados a subredondeados, a veces teñidos con una pátina rosada a parda (Lámina 2). Pueden estar formados por un intercrecimiento de cuarzo y feldespato con diseño de esferulitas (fibro radiales, axiolíticas, en abanicos o plumosas), que en ocasiones están recrystalizadas a un agregado equigranular de cuarzo anhedral. También son frecuentes los fragmentos de fiammes e ignimbritas alterados y deformados, constituidos por vidrio volcánico devitrificado y trizas vítreas acintadas alteradas

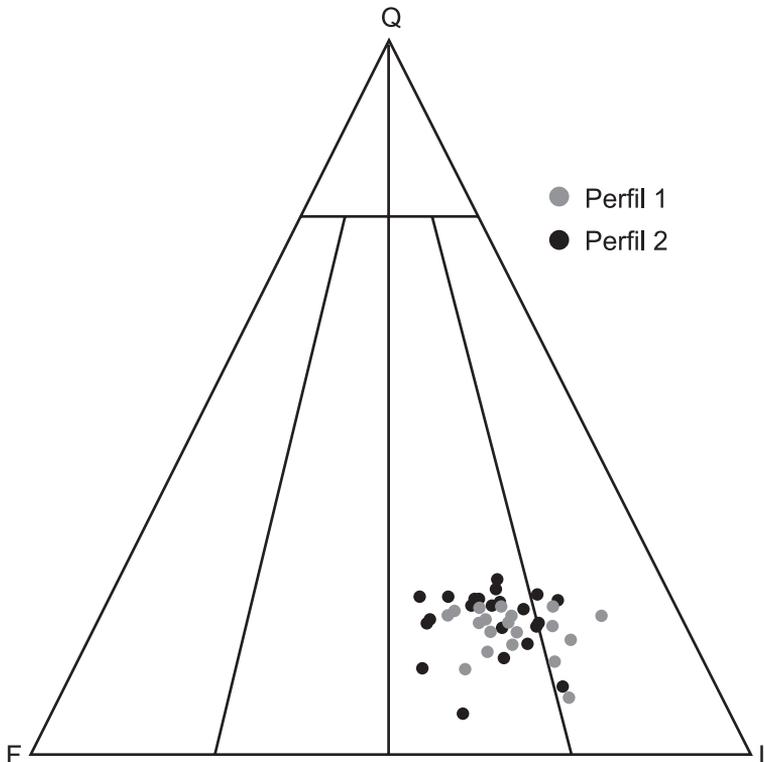


Figura 5. Diagrama de clasificación de las areniscas estudiadas, según Folk *et al.*, 1980.

a arcillas y ceolitas (Lámina 2). En general muestran bordes («rims» y cutanes) arcillosos. Es frecuente que los fragmentos se encuentren deformados por efecto de la compactación y que pierdan identidad como tales formando parte de la pseudomatriz y alterados hasta constituir epimatriz. Otro rasgo particular de estos líticos es que muestran disolución parcial y a veces total, o encogimiento, quedando los bordes de arcillas como bordes fantasmas (Lámina 2). Se observan clastos redondeados de ftanita caracterizada por presentar un mosaico de microcuarzo equigranular con cristales menores a 20 micrones, masivos, irregulares y a menudo con bordes difusos con extinción en punta de alfiler («pin-point extinction»). En algunas secciones se observan granos de megacuarzo y además agregados fibrosos de sílice definiendo una textura bandeada.

Los fragmentos de rocas volcánicas (Lv), figura 6, son subangulosos a subredondeados con textura porfírica o afanítica. Se reconocieron clastos subredondeados compuestos de una pasta volcánica microgranosa. En algunos casos estos clastos tienen cristales de plagioclasa de mayor desarrollo, subhedrales, con extinción zoneada y macla polisintética ley albita, constituyendo en estos casos fragmentos con textura porfírica. Se reconoce la presencia de fragmentos de dacitas con textura felsítica conformada por un mosaico de grano fino de cristales anhedral de cuarzo y feldespato. También se observan fragmentos con tablillas suborientadas de plagioclasa (microlitos orientados). Por último, hay volcanitas de composición andesítica con textura porfírica, seriada, interstital, con tablillas de plagioclasa, escasa biotita y biotita cloritizada en una matriz cripto a microcristalina alterada con inclusiones de opacos.

El contenido de fragmentos metamórficos (Lm) es bajo, con mayor presencia hacia el techo de la columna estudiada. Se trata de clastos subangulosos a angulosos de esquistos cuarzo-micáceo compuestos por un mosaico poligonizado de cuarzo con contactos rectos y bandas de biotita con hábito tabular y clivaje en una dirección, en algunos

casos cloritizadas. Es escasa la presencia de fragmentos de rocas metasedimentarias.

Los fragmentos sedimentarios clásticos (Ls) son escasos. Se trata de clastos de areniscas cuarzosas de grano medio, subredondeadas a subangulosas, con alto contenido de matriz y teñida de una pátina carbonosa (¿fragmentos carbonizados?) y fragmentos de pelitas elongadas con pátina ferruginosa.

*1b. Feldespatos.*— La presencia de las plagioclasas (P) es dominante en relación a los feldespatos potásicos. Se trata de cristales maclados, siendo la macla polisintética según ley albita la más importante. También se reconocen clastos con macla albita-carlsbad, macla periclino y maclas complejas. Se han reconocido evidencias de albitización en algunos individuos. Se reconocen dos poblaciones de plagioclasas con respecto al grado de alteración que exhiben. Hay plagioclasas límpidas, con extinción normal o zonada y otros cristales fuertemente alterados. Se observan alteraciones sericítica, caolinítica y esmectítica, por zonas o en todo el cristal. También se observan plagioclasas cribadas (textura en tamiz) con un fuerte proceso de disolución.

La morfología de los granos es variable, con hábito característico, subhedrales y como fragmentos anhedral y angulosos, figura 7. También se encuentran diferencias en cuanto a la deformación, algunas están muy fracturadas, con movilización de sus partes, generando un rompecabezas, observable por la impregnación de petróleo (textura en rompecabezas «jigsaw») mientras que otras presentan fracturas siguiendo o no el clivaje, pero sin movilización ni impregnación, figura 8.

En cuanto a los feldespatos potásicos (FK), se han identificado escasos cristales de ortosa fuertemente alterados a sericita.

*1c. Cuarzo.*— Los granos de cuarzo monocristalino (Qm) son subangulosos a subredondeados; de origen volcánico, límpidos y con extinción relámpago. Son granos subangulosos los de mayor tamaño y muy angulosos a angulosos los menores. En ocasiones se

presentan engolfados y fracturados, a veces con impregnación de petróleo. Otras veces aparecen con un juego de diaclasas pennadas (figura 9). Otros clastos de cuarzo monocristalino son de claro origen plutónico, subangulosos a subredondeados con extinción ondulosa, con inclusiones fluidas que les dan un aspecto de manchados o sucios.

También, de modo subordinado, hay cuarzo policristalino (Qp) subanguloso, con extinción fragmentosa.

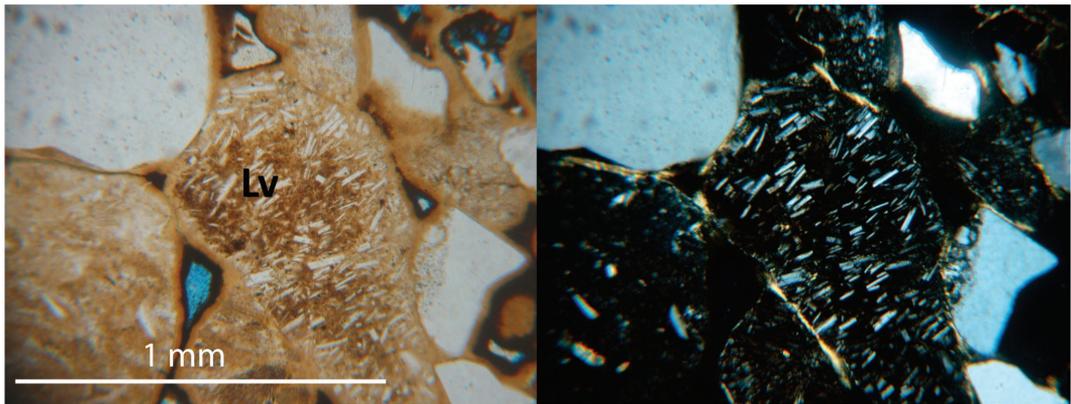
## 2. MATRIZ

En el perfil 1 el contenido promedio de matriz en las areniscas es de 6%, con un rango de variación entre 2,4 y 11,31 %; y en el perfil 2 de 5,68% con mayor presencia en

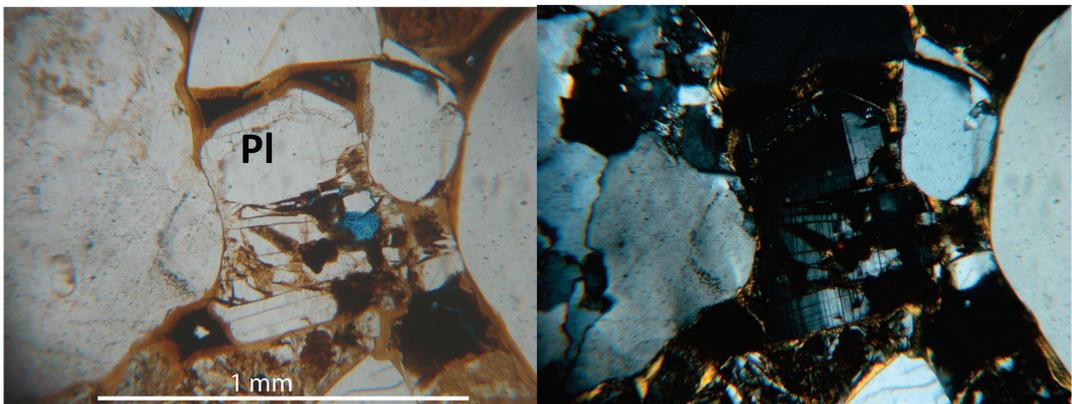
los sectores medios del perfil. Las areniscas de la base y el techo de las columnas estudiadas casi no contienen matriz.

La matriz primaria (protomatriz) es relativamente escasa y está compuesta principalmente por bordes de arcilla de naturaleza esmectítica que forma películas delgadas sobre algunos clastos y material limo-arcilloso dispuesto en forma heterogénea e irregular en los poros. También hay sectores con abundantes Qm y Plagioclasa, muy fracturados y movilizados formando una matriz de composición primaria pero producto de retexturización del entramado.

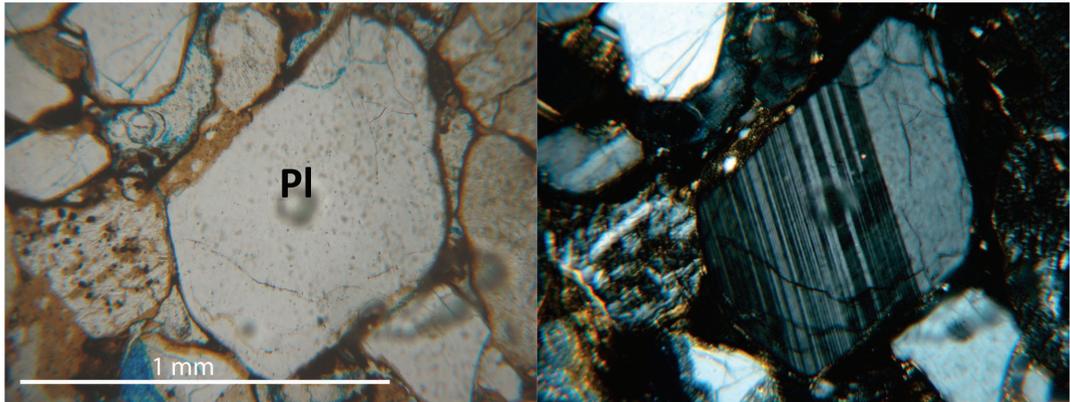
Se observan epimatriz (arcilla iluvial) y pseudomatriz generada por la deformación de los fragmentos líticos.



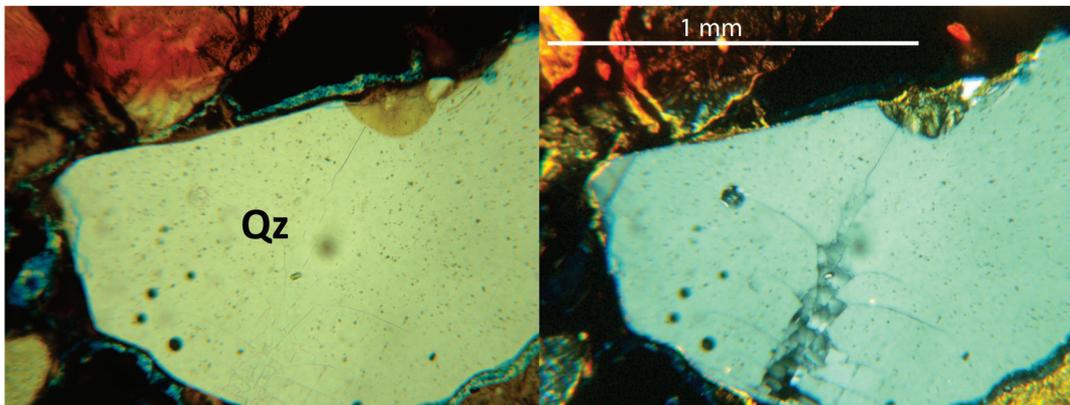
**Figura 6.** Lítico volcánico (Lv). Clasto subredondeado de volcanita constituida por una pasta vítrea y laminillas de plagioclasa. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.



**Figura 7.** Plagioclasa. Grano maclado polisintéticamente según ley albita. Fuertemente fracturado, con disolución e impregnación con petróleo. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.



**Figura 8.** Plagioclasa. Grano con macla polintética ley albita. Presenta fracturas sin desplazamiento. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.



**Figura 9.** Cuarzo con diaclasa pennada. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

En algunos casos se observa que los cutanes forman una estructura granular (tipo grumos arcillosos) subredondeada que ha sufrido fuerte penetración de los clastos vecinos durante el proceso de poro-compactación. En algunos poros se observa que los cutanes aparecen desprendidos, plegados y concentrados relleno parcialmente el intersticio. Este material anterior fue luego invadido por petróleo.

Los fragmentos líticos lábiles, en general los de origen piroclástico y volcánico, se deforman y flexuran como respuesta a la compactación y generan pseudomatriz. En el proceso de deformación pierden identidad como clastos, desaparecen sus bordes y se disponen tapizando a los otros clastos, figura 10. Estos materiales son altamente reactivos con los fluidos circulantes y a menudo pre-

sentan procesos de disolución, generando porosidad secundaria con posterior impregnación de petróleo.

### 3. CEMENTOS

El contenido de cementos en el perfil 1 es bajo, varía entre el 1 y el 10%, con un valor promedio de 4,6%. La proporción de los cementos no parece estar asociada a cambios sistemáticos o tendencias a lo largo de la columna estratigráfica.

El contenido de cementos en el perfil 2 varía entre el 2,7% y el 22,7% con un valor promedio de 11,98%.

La composición mineralógica de los cementos en ambos perfiles es similar, con excepción de la presencia de calcita hacia el techo del perfil 2.

La composición de los cementos incluye

arcillas (esmectita, esmectita-illita, caolinita), sílice (calcedonia y cuarzo microgranoso), ceolitas (heulandita, clinoptilolita, ¿harmotomo? y mordenita) y como ocurrencia restringida en algunas muestras: óxido de hierro, yeso y carbonato ferruginoso en el perfil 1, y calcita en el perfil 2.

En casi todas las muestras, el cemento arcilloso presenta dos estilos diferentes; en el más frecuente, el cemento se presenta como bordes o «rims» muy delgados alrededor de los clastos, tipo «pore lining», o como «pore bridging» de composición esmectítica-illítica. A veces está asociado a porosidad secundaria generada por la disolución de los clastos a los que rodean con impregnación posterior de petróleo, de tal modo que luego de la disolución casi total del clasto el cemento permanece flotando parcialmente disuelto, figura 11. El segundo estilo que presenta el cemento arcilloso, figura 12, con similar composición (esmectita-illita) es en forma oclusiva y con diferentes grados de impregnación de petróleo, lo que determina colores de interferencia diferentes, algunos en tonalidades de grises y otros pardo-amarillentos. Este tipo de cemento ocluye el espacio y las gargantas y muestra evidencia de disolución parcial.

Un cemento arcilloso menos frecuente (perfil 1) es el caolínico, asociado a los bordes de los clastos o rellenando los poros. Se lo reconoce como un agregado vermiforme

de cristales gruesos, incoloros, de alto relieve y baja birrefringencia, color de interferencia gris. Puede desarrollar un arreglo de libros apilados compuestos por plaquetas pseudohexagonales con una disposición «face to face», figura 13.

El cemento de sílice se presenta en casi la totalidad del perfil 1 y menos frecuentemente en el perfil 2, está presente como calcedonia fibrosa o fibroradial, a menudo impregnada con petróleo, con o sin borde de compromiso o como un mosaico microgranoso de cuarzo, figura 14, con contactos suturados que gradan a ftanita, a veces asociados al cemento arcilloso y con procesos de crecimiento hacia el centro del poro intergranular, en los alrededores de los clastos y las gargantas.

El cemento de ceolitas fue identificado a 15 m de la base del perfil 1 y en el perfil 2 es muy frecuente. Se dispone en forma de empalizada alrededor de los clastos, con hábito prismático y con clivaje en una dirección. Mediante difracción de rayos X, figura 15, se ha determinado la presencia de clinoptilolita-heulandita. Otras veces se dispone en los poros sin orientación definida. Con hábito tabular característico, pero menos desarrollados y menos frecuentes, se han identificado ¿harmotomo? (figura 16) y mordenita (con rayos x y observado ópticamente).

En la mitad superior del perfil 2 se distinguen dos niveles con calcita como cemento.

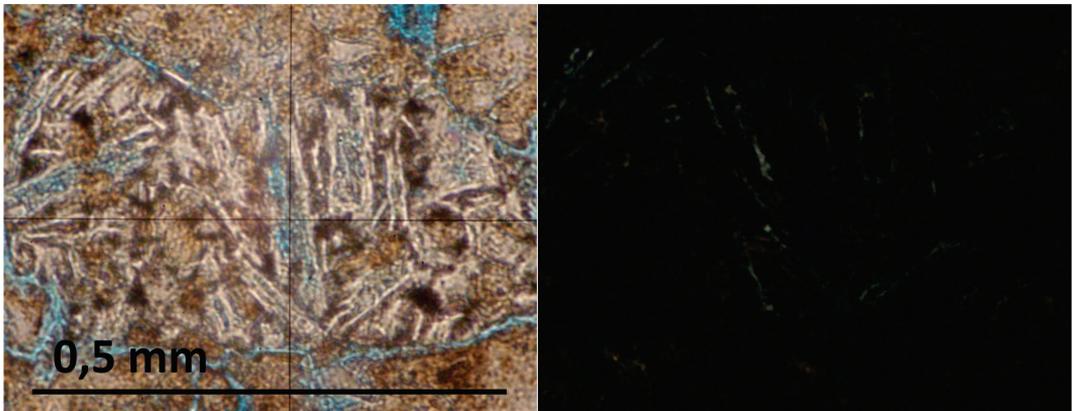


Figura 10. Pseudomatrix originada por la deformación, hasta la pérdida de identidad, de un lítico piroclástico (Lsp). Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

Se trata de calcita poiquilítica a veces microcristalina, a veces espática, maclada, con clivaje romboédrico excelente. Se observa cemento calcítico circungranular acicular y columnar, figura 17, y crecimiento desplazante de la calcita que produce expansión intergranular, corroe los contornos de los minerales y modifica la fábrica originando texturas de desplazamiento y quiebre de los granos. Un cemento carbonático-ferruginoso (¿siderita?) aparece como agregados microgranulosos de relieve alto, pardo rojizo y birrefringencia alta, colores de interferencia brillantes y sin relación definida con los clastos ni con los cementos anteriores.

A partir de los 80 m desde la base del perfil 1 se observa cemento de yeso fibroso, figura 18, maclado, ocupando los poros. En el nivel medio tiene buen desarrollo y hacia el techo disminuye su presencia.

En los cuerpos donde se describió la arquitectura sedimentaria, se han observado variaciones tanto en los contenidos y tipos de cemento como en la porosidad. Hacia la base de los canales el cemento predominante es arcilloso y hacia el techo de las barras es el ceolítico. Esta distribución de los cementos se relaciona posiblemente a aspectos granulométricos y/o texturales.

#### 4. POROSIDAD

La porosidad predominante es secundaria, producida por disolución y grano-com-

pactación. Se ha discriminado entre porosidad intergranular e intragranular - intracristalina y considerado su conectividad.

La porosidad promedio de las areniscas del perfil 1 es alta, alcanza el 24,11 %. De este valor, según el tamaño de los poros, se ha determinado que el 62,67 % son macroporos, el 26,2% son mesoporos y el 6,63 % son microporos, figura 19.

La porosidad promedio de las areniscas del perfil 2 alcanza el 18,67%. La relación es de macroporosidad > mesoporosidad > microporosidad, con valores promedios de 58,38%, 25,01% y 16,7 % respectivamente.

La porosidad intergranular es predominante, posee conectividad moderada y es generada por la disolución de clastos, cementos y de la presencia de epi y pseudomatrix (algunos poros son «oversized»). En ocasiones se observa impregnación de petróleo.

La porosidad intragranular se debe a fracturas con o sin orientación (en clastos de cuarzo, feldespatos y líticos con posterior impregnación de petróleo) o a disolución parcial (total, en contadas ocasiones) de feldespatos principalmente. La disolución parcial de Lsp con posterior impregnación ha sido observada en pocos individuos. Algunos poros contienen restos de cutanes, de proto y epimatrix esmectítica y en otros se observa la presencia de microestilolitos.

En los cuerpos donde se realizó arquitectura sedimentaria, se han observado varia-

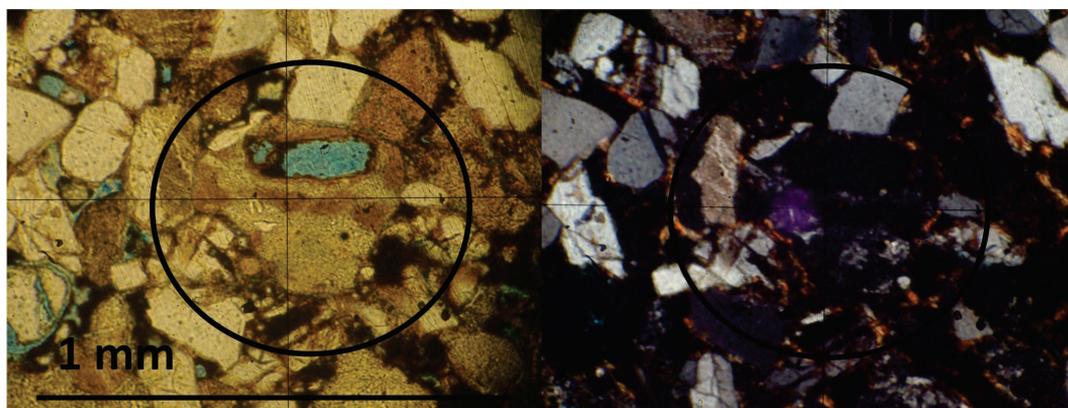


Figura 11. Porosidad secundaria producida por la disolución parcial de un clasto. Izq., nicols paralelos; der. nicols cruzados.

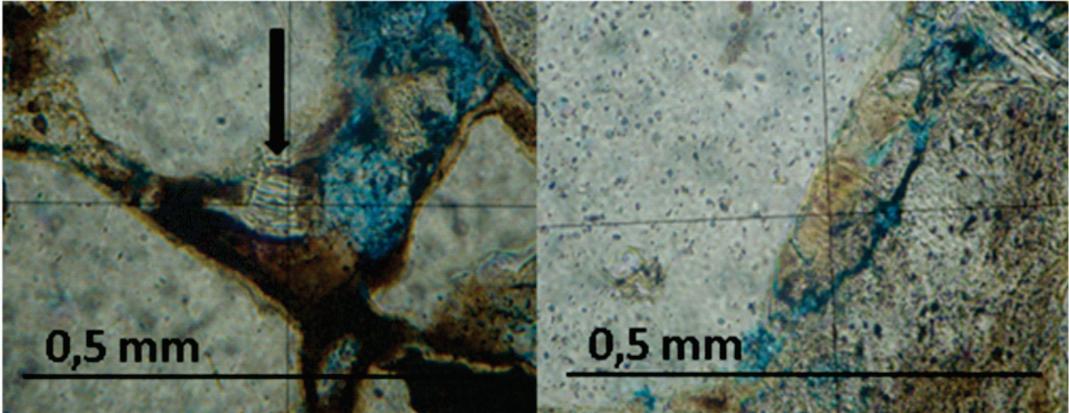


Figura 12. Cementos arcillosos oclusivos, con disolución y generando porosidad secundaria. Imágenes con nicoles paralelos.

ciones en la proporción de porosidad, la cual disminuye aguas abajo y hacia el techo de los cuerpos de areniscas.

4.1. Microfracturas en las areniscas.—

Las areniscas de los perfiles 1 y 2 se caracterizan por la intensa microfracturación que se observa en los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y de feldespatos (P y Fk), las que corresponden a la categoría II de Laubach (1997).

Las fracturas en los clastos de cuarzo pueden presentarse como diaclasas finas sin apertura y sin orientación o a veces con un diseño definido (diaclasas pennadas). En otras ocasiones son curvadas, pueden cruzarse y están abiertas con impregnación de petróleo. Si la densidad de estas fracturas es alta, le dan una apariencia de clastos explotados. También se han observado fracturas en los bordes de los clastos de cuarzo. Se reconocen fragmentos de cuarzo lascados que muchas veces se encuentran al lado del grano que forma el cuerpo original.

En los feldespatos también son muy frecuentes las microfracturas, que normalmente aprovechan los planos de clivaje. Los clastos parecen estar integrados por escalones que a veces se abren por la migración de petróleo. Cuando la movilización de los fragmentos es alta, adquiere una textura de rompecabezas y puede afectar la morfología

de los clastos ya que los bordes parecen estar escalonados.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

Las areniscas de la sección superior de la Formación Bajo Barreal están fuertemente dominadas por el aporte de rocas de naturaleza volcánica, tanto lávicas como piroclásticas, de composición andesítica y dacítica que se comportan de manera muy dúctil durante el soterramiento favoreciendo su compactación, alteración y transformación.

Los procesos físico-químicos iniciales de la diagénesis ocurren simultáneamente generan-

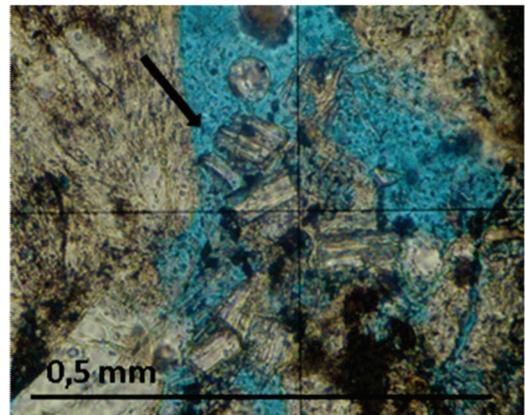


Figura 13. Librillo de caolinita. Imagen con nicoles paralelos.

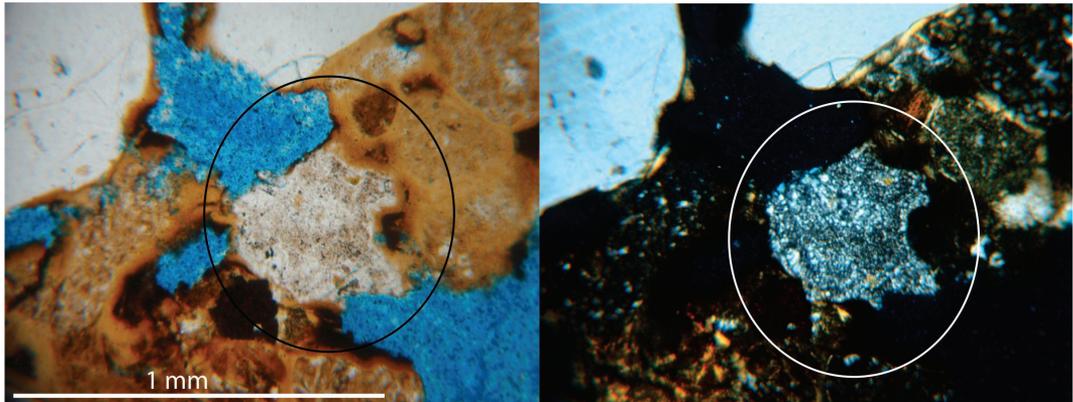


Figura 14. Cemento de cuarzo microgranoso. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

do: granocompactación de los fragmentos líticos que son comprimidos y penetrados por otros componentes más resistentes, desarrollo de pseudomatriz que resulta de la deformación intensa y pérdida de identidad de los fragmentos volcánicos y piroclásticos y que representa el volumen más importante de matriz (figura 10) y presencia de fracturas y diaclasas en minerales de menor competencia al esfuerzo como las plagioclasa y el cuarzo que reaccionan frágilmente (figura 8).

Poco después de la depositación, en el soterramiento inicial (eogénesis), comienza

la reducción de la porosidad primaria. La escasa preservación de esta porosidad está condicionada fuertemente por la abundancia de los materiales lábiles y solubles que han favorecido los procesos de compactación, disolución y transformación de los minerales. Estos factores son responsables de la generación de la multiplicidad de cementos en las diferentes etapas del proceso diagenético inicial (Galloway, 1979).

Las primeras reacciones químicas se relacionan con la alteración de los minerales inestables y del vidrio volcánico por la ac-

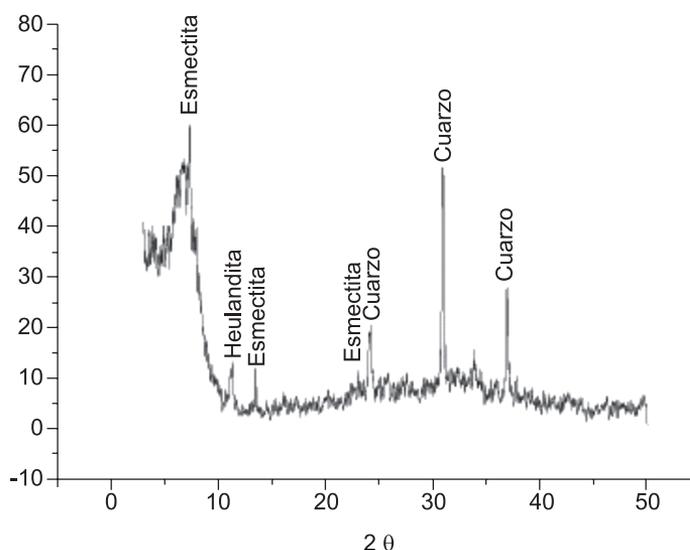


Figura 15. Difractograma de rayos X por el que se identificó la presencia de heulandita, clinoptilolita, esmectita y cuarzo.

ción de los fluidos porales. En efecto, la naturaleza inestable de los fragmentos volcánicos permite la hidrólisis y disolución de los minerales ferromagnesianos. Estos minerales provenientes de rocas de alta temperatura, son inestables, se hidratan, pueden pasar por fases de minerales hidratados y finalmente se disuelven parcial o totalmente. Los fragmentos vítreos, al ser químicamente inestables y fácilmente solubles, durante la etapa vadosa se alteran, se hidratan (palagonización) provocando su destrucción (Gifkins *et al.*, 2005).

Como consecuencia de la disolución de los minerales ferromagnesianos de las rocas volcánicas y del vidrio, los fluidos circulantes aumentan su pH, se saturan en diferentes cationes concentrando sílice, Al, Fe y cationes

alcalinos que van a precipitar como cemento arcilloso de naturaleza esmectítica y esmec-

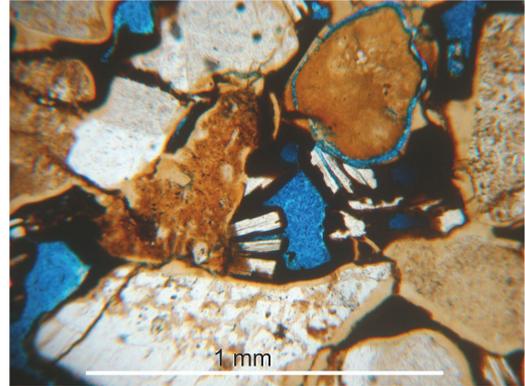


Figura 16. Cemento ceolítico (¿Harmotomo?). Imagen con nicoles paralelos.

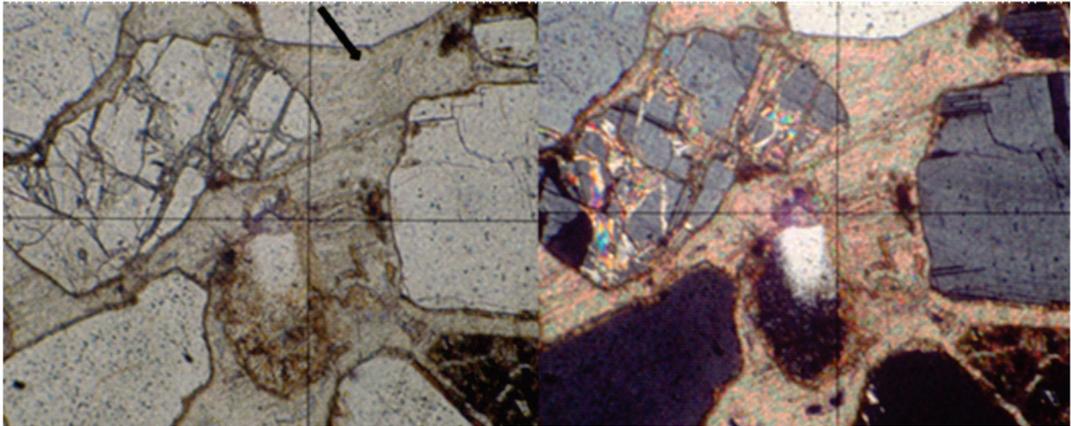


Figura 17. Crecimiento desplazante de la calcita que produce expansión intergranular. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

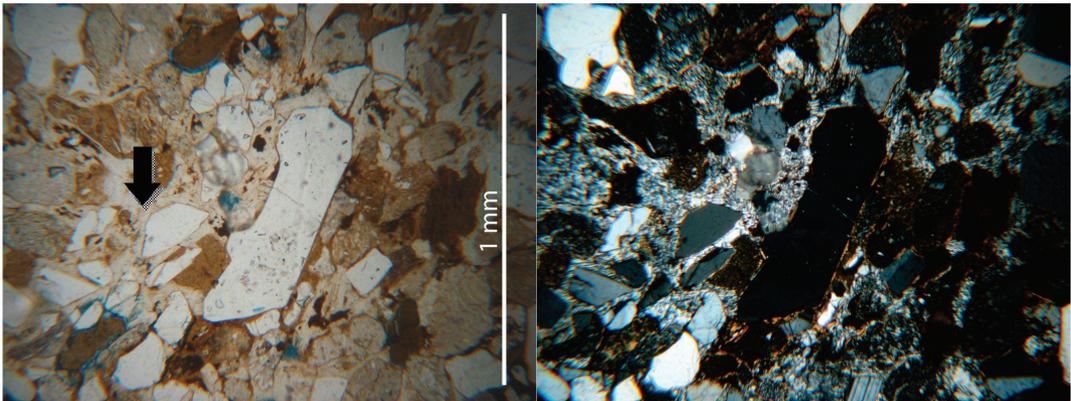


Figura 18. Cemento de yeso fibroso. Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

títica-illítica (Newman, 1987). Se observan, como bordes aún preservados, alrededor de los clastos que están en contacto entre sí y que se deforman cuando incrementa el soterramiento y la compactación («clays rims» formados en el estadio 2 de Galloway, 1979) o como relleno del espacio poral, donde la precipitación ocurre de manera estratificada, con extinción zonada, probablemente como respuesta a los diferentes grados de hidratación que alcanzan. Son de color pardo claro y adquieren una coloración más oscura cuando están impregnados con petróleo. Poseen diferentes grados de desarrollo y en parte presentan evidencias de disolución. La formación de esmectita está relacionada con ambiente alcalino, en regímenes de baja incidencia de lluvias donde el Mg no es completamente lixiviado. Aun cuando el cemento sigue siendo predominantemente esmectítico, el reconocimiento de la presencia de la illita (cemento esmectita-illita) supone una reacción que necesita de K y Al con libera-

ción de agua para la transformación incipiente de esmectita a illita, indicando, probablemente, un mayor soterramiento («pore filling», estadio 3 de Galloway, 1979).

Es escasa la presencia de cemento caolinítico, que aparece como relictos aislados. Su origen puede deberse a la acidificación local de las aguas intersticiales favorecida por la descomposición de la materia orgánica y la disolución de los feldespatos. La presencia menor de caolinita, en esta secuencia volcánoclastica supone alta tasa de lixiviación.

El cemento de ceolitas (figura 16) desarrolla empalizada alrededor de los clastos y se presentan con hábito prismático, sin orientación preferencial relleno del espacio poral. Se ha reconocido la presencia de heulandita, clinoptilolita, ¿harmotomo? y mordenita. La formación diagenética de ceo-

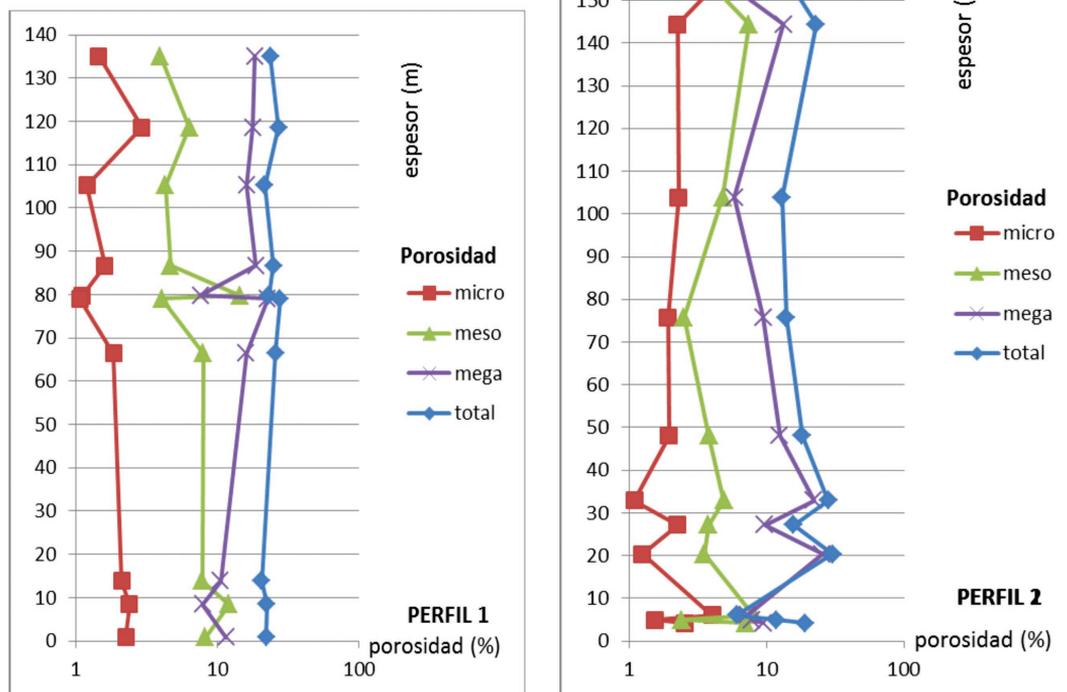
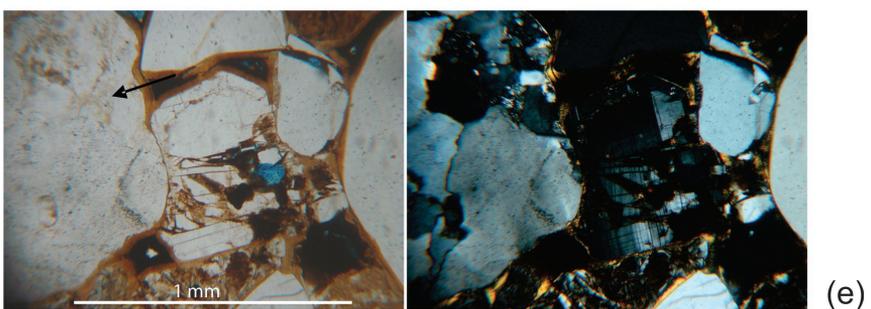
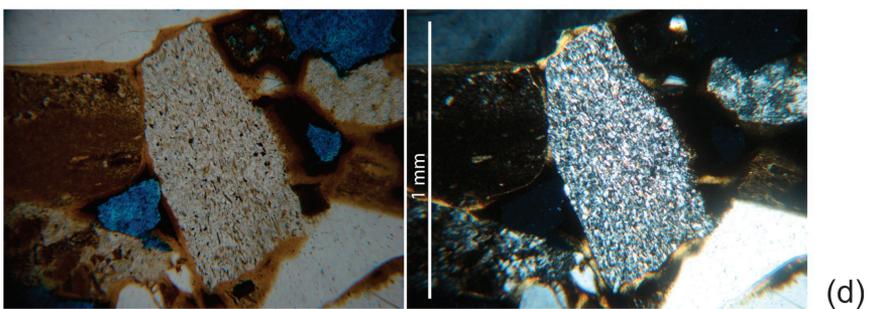
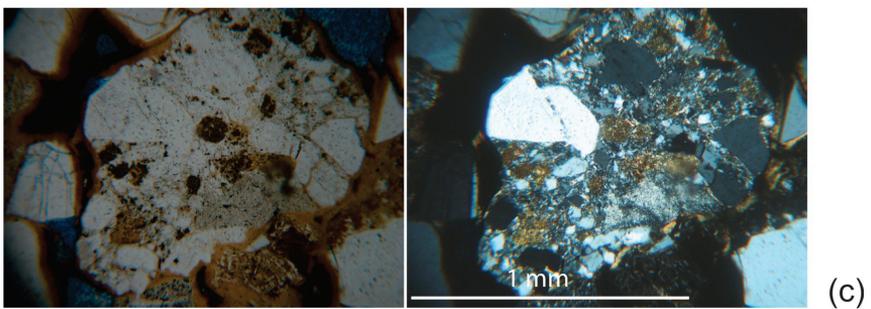
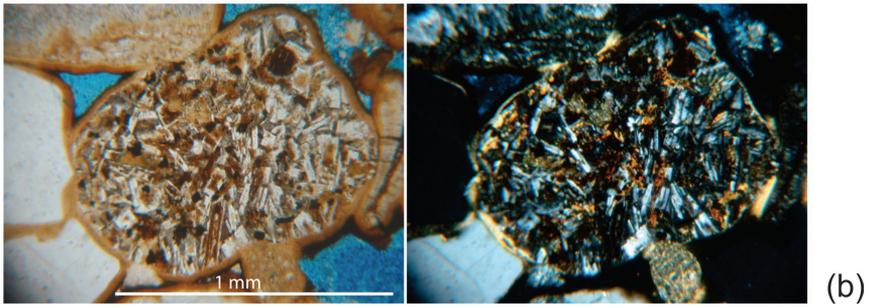
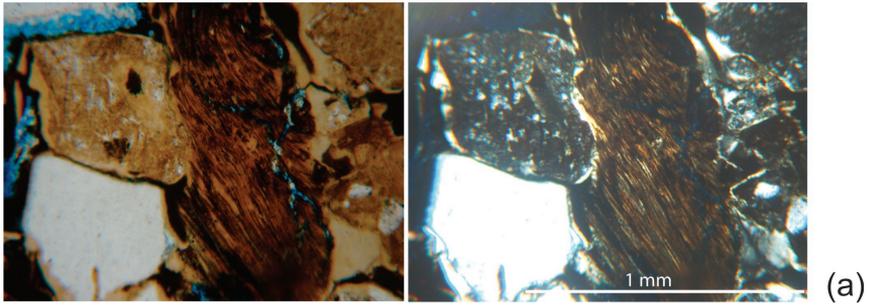


Figura 19. Distribución de la porosidades total, micro, meso y mega, a lo largo de los perfiles 1 y 2. La escala del eje de las abscisas (porcentaje de porosidad) es logarítmica en base 10, lo que permite atenuar las curvas logrando mejor visibilidad de las variaciones.



**Lámina 1 [página anterior].** (a) Lítico de origen piroclástico (Lsp). (b) Lítico de origen volcánico (Lv). (c) Lítico de origen sedimentario clástico (Ls). (d) Lítico de origen metamórfico (Lm). (e) Lítico de origen plutónico (Lp). . lzq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

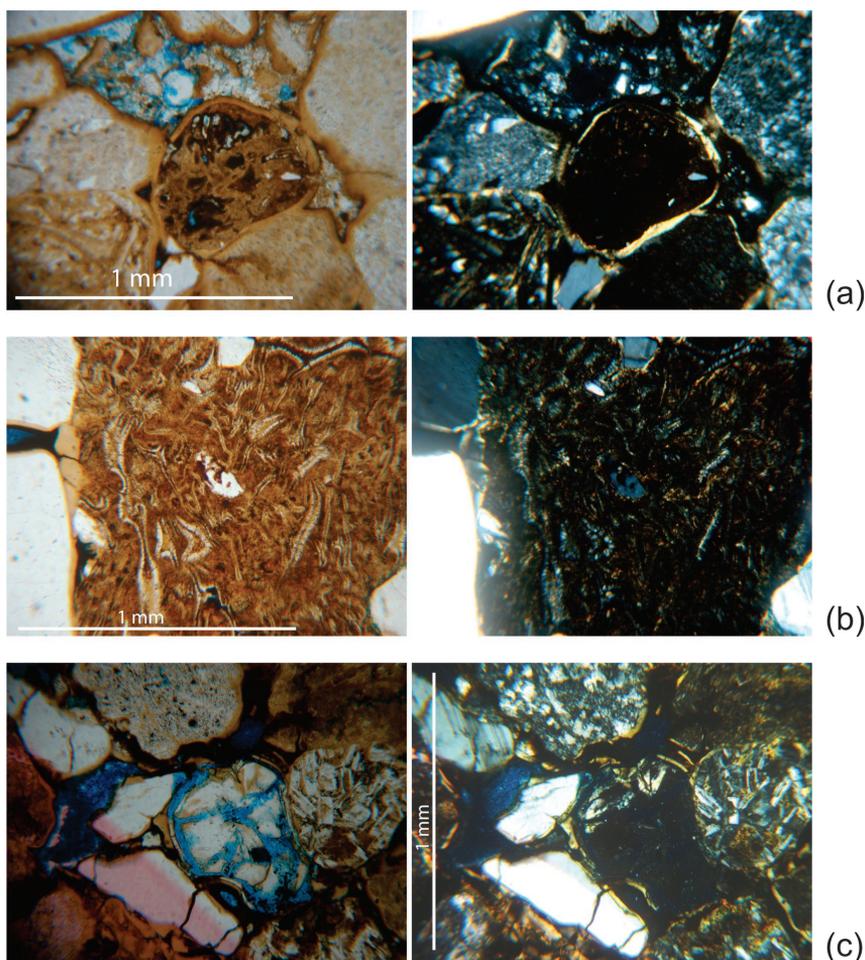
litas en secuencias con fuerte aporte volcánico se relaciona con la alteración de las plagioclasas, de los fragmentos líticos volcánicos y del vidrio volcánico. Boggs (1979) señala tres tipos de reacciones que ocurren en los procesos diagenéticos en relación a su origen: hidratación, carbonatización y deshidratación, las dos primeras asociadas a la diagénesis inicial (eogénesis) y la última a una diagénesis profunda (mesogénesis a metamorfismo). Las reacciones de hidratación en la eogénesis (plagioclasa + agua = ceolita y vidrio + agua = ceolita) liberan sílice y Al al sistema y elementos como Ca, K y Na. Las soluciones pueden saturarse en estos elementos y a profundidades someras con pH adecuados precipitan asociaciones de ceolitas diagenéticas que incluyen mordenita, clinoptilolita, heulandita y filipsita asociadas a las esmectitas (Boggs, 1992; Davies *et al.*, 1979).

En dos niveles de arenitas sin matriz se ha verificado la presencia de cemento de calcita poiquilótópica (figura 17) que preserva el entramado original abierto de la arena. Este cemento probablemente se origina por fluctuaciones del pH de las aguas freáticas por cambios estacionales de ascenso y descenso del nivel de agua. Se trata de un mosaico de calcita («blocky») constituido por cristales anhedrales que rellenan el espacio interclástico. Esta textura poiquilótópica, con cristales bien desarrollados de calcita, sugieren una cristalización lenta a partir de soluciones diluidas con pocos puntos de nucleación. Su precipitación corroe los contornos de los clastos y del cemento ceolítico, en muchos casos es pervasiva y penetra a través de las fracturas. La cementación de calcita eogenética se reconoce como una fase diagenética que ocurre comúnmente a temperaturas muy bajas. Durante la alteración de las plagioclasas, los procesos de hidratación pueden liberar el Ca necesario para reaccionar con el  $\text{HCO}_3$  y formar cementos

carbonáticos. Surdan y Boles (1979) citan tres orígenes posibles para el  $\text{HCO}_3$  y el  $\text{CO}_2$  en los sedimentos: la atmósfera, la descomposición biológica de materia orgánica y la disolución de material fósil. De los cuales los dos primeros parecen tener relación con el cemento de calcita encontrado. Se podría suponer dos generaciones de cemento carbonático, uno precipitado por los procesos de compactación y otro que rellena las fracturas, probablemente telogénético.

En algunas muestras (techo de ambos perfiles y base del perfil 2) se observa, por zonas, un cemento microgranoso de color amarillo ámbar a pardo rojizo de alta birrefringencia. Posiblemente se trata de dolomita ferrosa o siderita. Su presencia es poco frecuente y precede a la invasión de petróleo. Su desarrollo puede asociarse a la disolución de los fragmentos volcánicos que normalmente son ricos en Fe y Mg.

Se han reconocido cementos silíceos compuesto por cuarzo microgranoso o microcuarzo (chert), calcedonia y calcedonia fibrosa. Se encuentran impregnados de petróleo y se ubican como agregados que rellenan los poros, con extinción en punta de alfiler («pin point extinction») o con textura drusoide y esferulítica. En algunos sectores se observa una gradación de tamaño desde el borde hasta el centro de los poros. Si bien se ubica en todo el perfil 1 y en sectores del perfil 2, por lo general alcanzan poco desarrollo. El origen de la sílice estaría relacionado con el fuerte aporte piroclástico y de vidrio volcánico y no asociado a procesos de presión-solución resultando independiente de la composición de los clastos que cementa (Worden y Morad, 2000). Aunque estos cementos pueden precipitar directamente a partir de las aguas porales, se considera que primero precipita sílice como ópalo A, luego ópalo CT que disminuye su solubilidad para finalmente precipitar como microcuarzo (Boggs, 1992).



**Lámina 2.** (a) Fragmento pumíceo con bordes redondeados a subredondeados, teñido con una pátina rosada a parda. (b) Fragmento de fiame alterado y deformado, constituido por vidrio volcánico devitrificado y trizas vítreas acintadas alteradas a arcillas y ceolitas. (c) Lítico que muestra disolución casi total, o encogimiento, quedando los cutanes de arcillas como bordes fantasmas. . Izq., nicoles paralelos; der. nicoles cruzados.

Se observaron cutanes arcillosos, desarrollados probablemente por procesos que ocurren en las areniscas de explayamiento, que no pertenecen a canales activos, con cierta evidencia de procesos edáficos. Las arcillas están orientadas paralelamente a la superficie de los granos, son típicamente formadas por iluviación de material coloidal sobre los granos (los «Clay coats» de Galloway, 1979). Se interpretan como originados en climas con alternancia de estación húmeda y seca y constituyen epimatriz.

La cementación y la compactación compiten en la destrucción de la porosidad intergranular inicial. En la etapa inicial de la mesogénesis se ha generado porosidad secundaria como producto de la disolución de clastos, cementos y matriz. También se ha reconocido la disolución intragranular de los fragmentos más lábiles y de las plagioclasas. La disolución alcanza diferentes grados, en algunos casos quedan relictos del clasto o del cemento que ha sido afectado. Esto genera un tipo de poros agrandados o sobredimensionados (Worden y Burley, 2003).

Durante la telogénesis se acentúa la granofragmentación, de manera que aparecen nuevas fracturas en los granos de plagioclasa y cuarzo. En los fragmentos líticos aparecen fracturas abiertas por corrosión y también huecos de corrosión. Muchos poros con petróleo son objetos de lavado y ensanche parcial. También son generados nuevos poros, en muchos casos sobredimensionados. Los nuevos poros son producto de la disolución incongruente de plagioclasa (plagioclasa cribada) y la disolución casi total de fragmentos volcánicos (Larsen y Chilingar, 1979). En algunas muestras aparece yeso fibroso como cemento relleno principalmente poros sobredimensionados. Esta autigénesis podría ser un producto telogenético.

#### CONCLUSIONES

Las areniscas de la sección superior de la Formación Bajo Barreal son litarenitas y litarenitas feldespáticas. El importante aporte volcánico permite subclasificarlas como litarenitas volcánicas.

El contenido de cemento varía entre el 1 y el 10% en el perfil 1 y entre el 2 y el 22 %

en el perfil 2. La composición mineralógica de los cementos es similar en ambos perfiles: arcillas, sílice (cuarzo microgranoso, calcedonia microgranosa y calcedonia fibrosa), ceolitas (heulandita, clinoptilolita, ¿harmotomo? y mordenita), óxido de hierro, carbonato ferruginoso, calcita y yeso fibroso. El cemento arcilloso es el predominante en la base de los canales. Hacia el techo de las barras predomina el cemento ceolítico.

El contenido promedio de matriz es similar en ambos perfiles, 6%, con mayor presencia hacia los sectores medios. Se observan ortomatriz y epimatriz escasas y mayores contenidos de pseudomatriz. Estos materiales son altamente reactivos por lo que presentan evidencias de disolución que genera porosidad secundaria y posterior impregnación con petróleo.

Se propone un sistema para la identificación y clasificación de los poros según su morfología y tamaño. La porosidad promedio es alta 24,11% en el perfil 1 y 18,67% en el perfil 2. Se trata principalmente de porosidad secundaria. Se observan variaciones laterales en la distribución de la porosidad, la cual disminuye aguas abajo y hacia el techo de los

	Eogénesis	Mesogénesis	Telogénesis
Matriz infiltrada	████████		
Ortomatriz	████████		
Pseudomatriz	████████		
Cementos arcillosos	████████		
Cemento silíceo	████████	████████	
Cemento ceolítico	████████		
Cemento carbonático	████████		████ (¿?)
Porosidad secundaria		████████	
Impregnación por petróleo		████████	
Lavado			████████
Cemento de yeso			████████

cuerpos. La escasa preservación de la porosidad primaria está condicionada por la abundancia de materiales lábiles y solubles que producirán múltiples cementos en las diferentes etapas del proceso diagenético.

Se observan evidencias de reacciones de oxidación, hidratación, disolución, deshidratación, intercambio iónico e hidrólisis en la historia diagenética de la columna geológica.

Las litarenitas se caracterizan por una intensa microfracturación. Se interpreta que las fracturas, tanto de los granos de cuarzo como de plagioclasa, fueron producidas durante la granocompactación y cuando son muy intensas y transgreden varios clastos vecinos, se pueden decir que tienen origen tectónico (vecindad con una falla activa) que puede ser sin o postsedimentario (eo, meso y telogénesis). La presencia de petróleo en las fracturas implica que fueron generadas durante la granocompactación, combinada o no, con actividad tectónica antes de que se genere la porosidad secundaria y la migración del petróleo.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Fundación Miguel Lillo por el lugar de trabajo y la financiación parcial. A la Facultad de Ciencias Naturales e IML de la UNT. A Repsol-YPF la financiación parcial del proyecto y por permitir la comunicación de los resultados. Al Dr. Martín Umazano y a un árbitro anónimo por sus valiosos comentarios, sugerencias y aportes. Al Dr. Pablo Grosse por la revisión del abstract.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Archangelsky, S., Belloso, E. S., Jalfin, G. A. y Perrot, C. 1994. Palynology and alluvial facies from the mid-Cretaceous of Patagonia, subsurface of San Jorge Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 15: 127-142.
- Boggs, S. Jr. 1992. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Macmillan Publishing Company. New York.
- Bridge, J. S. y Georgieff, S.M. 1997. *Geometry, Lithofacies and Spatial Distribution of Fluvial Sandstone Bodies, Cretaceous Chubut Group, San Jorge Basin, Argentina*. Informe YPF SA, 141 pp.
- Bridge, J. S., Jalfin, G. A. y Georgieff, S.M. 2000. *Geometry, Lithofacies and Spatial Distribution of Cretaceous Fluvial Sandstone Bodies, San Jorge Basin, Argentina: Outcrop Analog for the Hydrocarbon-Bearing Chubut Group*. *Journal of Sedimentary Research*, 70 (2): 341-359.
- Davies, D. K., Almon, W. R., Bonis, S. y Hunter, B. E. 1979. *Deposition and Diagenesis of Tertiary-Holocene volcanoclastics, Guatemala*. *Aspects of diagenesis*. SEPM Special Publication 26: 281-306.
- Feruglio, E. 1949. *Descripción Geológica de la Patagonia*. Yacimientos Petrolíferos Fiscales 1:1-334.
- Figari, E., Strelkov, E., Cid de la Paz, M., Celaya, J. Laffitte, G. y Villar, H. 2002. *Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica*. En M. J. Haller (Ed.): *Geología y recursos naturales de Santa Cruz*. Relatorio XV Congreso Geológico Argentino. Actas III-1: 571-601. El Calafate.
- Fitzgerald, M. G., Mitchum, R. M. Jr., Uliana, M. A. y Biddle, K. T. 1990. *Evolution of San Jorge Basin*. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74: 879-920.
- Folk, R. L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, Austin, TX, 170 pp.
- Galloway, W. E. 1979. *Diagenetic Control of reservoir quality in arc-derived sandstones: implications for petroleum exploration*. *Aspects of diagenesis*. SEPM Special Publication 26: 251-263.
- Georgieff, S. y Di Benedetto, L. 2005. *Interpretación y correlación entre cuerpos de areniscas en afloramientos y datos de subsuelo*. Formación Bajo Barreal. Comunicación interna YPF S.A.
- Georgieff, S., Sosa Gómez, J., Vides, M. E., Ibañez, L., Ovejero, R., Bossi, G., Richter, G., Pieroni, E. y Roldán, A. 2008. *Caracterización de reservorios en los cerros Guadal y Guacho, Formación Bajo Barreal, Cretácico*. Cuenca del Golfo de San Jorge, Argentina. Repsol-YPF. Informe inédito. 230 pp.
- Gifkins, C., Herrmann, W. y Large, R. 2005. *Altered Volcanic Rocks. A guide to description and interpretation*. Ed. UTAS. University of Tasmania, Australia. 275 pp.
- Hechem, J. J. 1994. *Modelo predictivo de reservorios en un sistema fluvial efímero del Cretácico de la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina*. AAS Revista 1: 3-14.
- Hechem, J. J., Homovc J. F. y Figari, E. G. 1990. *Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la Sierra de San Bernardo, cuenca del Golfo San Jorge, Argentina*. XI Congreso Geológico Argentino. Actas 3:173-176, San Juan.
- Homovc, J. F., Conforto, G. A., Lafourcade, P. A. y Chelotti, L. A. 1995. *Fold Belt in the San Jorge Basin, Argentina: an example of tectonic inversion*. En *Basin Inversion*, J. G. Buchanan y P. G. Buchanan (eds.), Geological Society Special Publication 88: 235-248.

- Ibañez, L. M., Ovejero R., Georgieff S. M., Ferreira L., Bossi G. E. 2009. Petrography and porosity in fluvial hydrocarbon-bearing sandstones. Bajo Barreal Formation (Cretaceous), San Jorge Basin, Argentina. En L.M. Ibañez (Ed.), Abstracts, 9th International Conference on Fluvial Sedimentology. *Acta Geológica Lilloana* 21 (2), Suplemento: 42-43.
- Ibañez, L. M., Ovejero, R., Ferreira, L. y Georgieff, S.M. 2010. Cements from Bajo Barreal Formation Sandstones, San Jorge Basin, Patagonia Argentina. 18th International Sedimentological Congress: 459. Mendoza.
- Laubach, S. E. 1997. A method to detect natural fracture strike in sandstone. *American Association of Petroleum Geologists* 81(4): 604-623.
- Larsen, G. y Chilingar, G. V. 1979. Diagenesis in sediments and sedimentary rocks. *Developments in Sedimentology* 25 A. Elsevier, 579 pp.
- Newman, A. C. 1987. The chemistry of clay and clay minerals. *Mineralogical Society. Monograph* 6. Longman Scientific and Technical, London, 480 pp.
- Panza, J. L. y Nullo, F. E. 1994. Mapa Geológico de la Provincia de Santa Cruz, República Argentina, escala 1:750.000. Secretaría de Minería, Dirección Nacional del Servicio Geológico.
- Peroni, G. O., Hegedus, A. G., Cerdan, J., Legarreta, L., Uliana, M. A. y Laffitte, G. 1995. Hydrocarbon accumulation in an inverted segment of the Andean Foreland: San Bernardo Belt, Central Patagonia. En, *Petroleum Basins of South America*, A. J. Tankard, R. Suarez y H. J. Welsink, American Association of Petroleum Geologists. *Memoir* 62: 403-419.
- Rodríguez, J. F., 1992. Interpretación paleoambiental de la Formación Bajo Barreal (Cretácico tardío) en Estancia Ocho Hermanos, Chubut. IV Reunión Argentina de Sedimentología. *Actas* 2: 81-88, La Plata.
- Richter, G., Georgieff, S. y Sanagua, J. 2005. Análisis de facies y correlación de las areniscas cretácicas del Grupo Chubut en el río Senguer, Cuenca del Golfo, Argentina. *Serie Monográfica y Didáctica* 45: 106. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Argentina.
- Richter G. A. V., Georgieff S. M., Sanagua J. G. 2009. Stratigraphy and fluvial architecture of the Castillo and Bajo Barreal Formations (Cretaceous) in the southern end of San Bernardo Range and Barranca Yankowski, Golfo San Jorge Basin, Chubut and Santa Cruz Provinces, Argentina. En L.M. Ibañez (Ed.), Abstracts, 9th International Conference on Fluvial Sedimentology. *Acta Geológica Lilloana* 21 (2), Suplemento: 56-57.
- Schmidt, V. y McDonald, D. 1979a. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. *SEPM Special Publication* 26: 175-207.
- Schmidt, V. y McDonald, D. 1979b. Texture and recognition of secondary porosity in sandstones. *SEPM Special Publication* 26: 209-225.
- Sciutto, J. C. 1981. Geología del codo del río Senguer, Chubut, Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino. *Actas* 3: 203-219. San Luis.
- Sosa Gómez, J., Georgieff, S. M., Foster, M., Santangelo, A., Spinach S. y Di Benedetto, L. 2008. La inversión estructural en el área de Cerro Guadal, Cuenca del Golfo de San Jorge, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. *Actas*: 901-902.
- Surdam, R. C y Boles, J. R. 1979. Diagenesis of volcanic sandstone. *Aspects of diagenesis. SEPM Special Publication* 26: 227-242
- Terry, R. D y Chilingar, G. V. 1955. Summary of «Concerning some additional aids in studying sedimentary formations», by M.S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Petrology* 25: 229-234.
- Uliana, M. A. y Biddle, K. T. 1987. Permian to Late Cenozoic evolution of northern Patagonia: main tectonic events, magmatic activity, and depositional trends. En *Gondwana six: structure, tectonics, and geophysics. American Geophysical Union Geophysical Monograph* 40: 271-286.
- Worden, R. H. y Burley, S. D. 2003. Sandstone Diagenesis: the evolution of sand to stone, in S.D. Burley and R.H. Worden, (Eds.), *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient: International Association of Sedimentologists, Blackwell Publishing Ltd. Reprint Series* 4, 344 pp.
- Worden, R. H. y Morad, S. 2000. Quartz cementation in sandstones. *International Association of Sedimentologists, Special publication* 29. Blackwell.