

## **SOBRECRECIMIENTOS DE CUARZO Y FELDESPATOS Y DISOLUCIONES DE CRISTALES EN RESERVORIOS VOLCANICLÁSTICOS DE LA FORMACIÓN LAS CABRAS, CUENCA CUYANA Y SU IMPACTO EN EL RESERVORIO**

Viviana Meissinger<sup>1</sup>, Daniela Ancheta<sup>1</sup>, Carolina González<sup>2</sup>, Karina Mykietiuk<sup>2</sup>, Yolanda Ruiz<sup>2</sup>,  
Iván Petrinovic<sup>3</sup>, Remigio Ruiz<sup>4</sup>

1: PETROe-data S.R.L. viviana.meissinger@petroe-data.com.ar, daniela.ancheta@petroe-data.com.ar

2: YPF S.A. laura.c.gonzalez@ypf.com, karina.mykietiuk@ypf.com, yolanda.ruiz@ypf.com

3: CICTERRA. ipetrinovic@gmail.com

4: YTEC. remigio.ruiz@ypftecnologia.com

**Palabras clave:** Reservoirio, Volcaniclástico, Diagénesis, Microtermometría, Petrografía

### **ABSTRACT**

The implementation of high-resolution thin section mosaics was applied to characterize the volcanoclastic reservoir of the Las Cabras Formation of the Cuyana Basin, based on the interpretation of the processes that modified the porosity and permeability conditions.

The deposits of Las Cabras Formation are filling the halfgrabens formed during the first extensional stage of the Cuyana Basin; and they are constituted by different volcanoclastic events, which generated predominantly ignimbritic deposits, characterized by containing crystalloclasts, volcanic lithics and vitroclasts. These deposits have intragranular, intracrystalline and interparticle porosity, the latter occurring in the vitreous matrix. Some of these intervals are palagonitized with their porosity obliterated.

Detailed petrographic compositional and textural analysis serves to characterize the pore system of the reservoir rocks. Measurements of the components and of the pores were made from point counting and image processing of the thin section mosaics. From the results, similarities and differences of the different intervals of Las Cabras Formation are recognized.

The deposits of Las Cabras Formation due to their predominantly volcanoclastic origin, were deposited in a wide range of temperatures. The initial temperature and fluids involved could influence the generation of some dissolution and cementation processes.

Being able to define the origin of the elements associated with dissolution and cementation, as a product of deuteritic, hydrothermal or diagenetic processes, is of vital importance for understanding the spatial distribution of the reservoir facies.

### **INTRODUCCIÓN**

La Cuyana es una de las cuencas productivas de Argentina. Es de tipo *rift* originada a partir de la apertura del Océano Atlántico, durante el Triásico y está integrada de norte a sur por una

sucesión de depocentros que están parcial o totalmente desconectados por altos de basamento intracuencales y han sido estudiados por numerosos autores, entre ellos Kokogian y Boggetti (1987), Kokogian *et al.* (1993); Spalletti 2001; Zencich *et al.* 2005 entre otros. El evento de *synrift* fue seguido por un estadio de *sag* y subsidencia durante el resto del Mesozoico (Fig. 1).

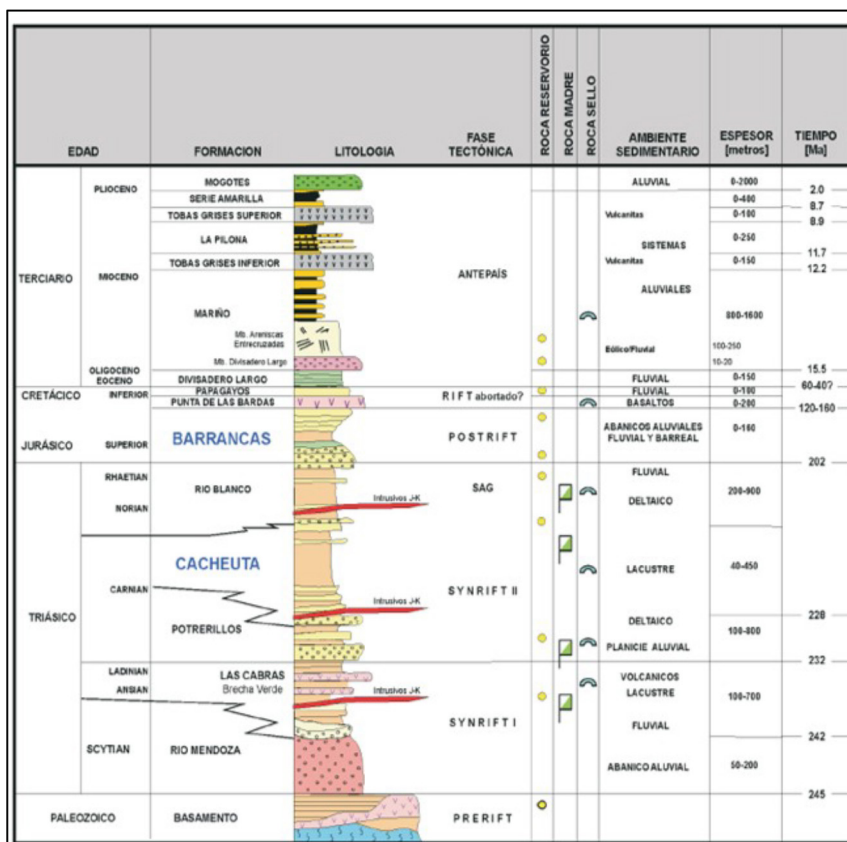


Figura 1. Columna Estratigráfica de la Cuenca Cuyana tomada de Zencich *et al.* 2008.

El relleno sedimentario procede de diferentes fuentes y la sedimentación ocurrió desde el Triásico hasta el Terciario. Dentro de la pila sedimentaria se reconocen varios niveles de reservorio y corresponden a las Formaciones Barrancas, Papagayos, Río Blanco, Potrerillos, Las Cabras y el Miembro Areniscas Entrecruzadas de la Formación Mariño. Este trabajo está realizado sobre la Formación Las Cabras en el Bloque de Barrancas, operado por YPF S.A, ubicado al sur de la ciudad de Mendoza, Argentina (Fig. 2). Las rocas reservorio analizadas están a una profundidad promedio de 2500 mbbp y corresponden a la Formación Las Cabras, relleno inicial de la etapa de rift. Está conformada por distintos eventos volcánicos y volcanoclásticos que se interdigitan entre sí. Son mayormente rocas ignimbríticas integradas por líticos volcánicos, cristaloclastos y vitroclastos. La composición es preferentemente riolítica, dada la abundancia de cristaloclastos de cuarzo y feldespato potásico.

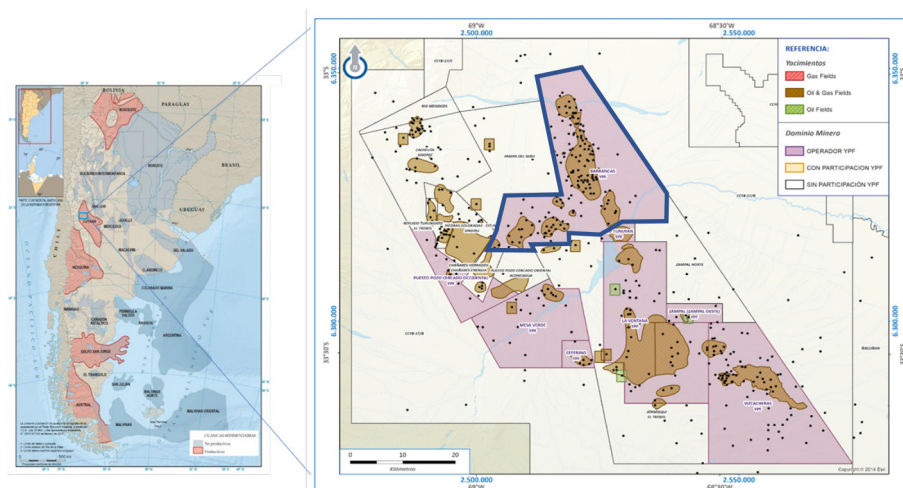


Figura 2. Mapa de ubicación del Bloque Barrancas, operado por YPF en el ámbito de la Cuenca Cuyana.

Se persigue dar un nuevo enfoque en la caracterización de los reservorios volcanoclásticos y definir el orden en el que sucedieron eventos deutéricos y diagenéticos y su efecto sobre las propiedades intrínsecas del reservorio, como lo son la porosidad y la permeabilidad.

No existen muchas publicaciones dedicadas a la diagénesis y al sistema poral en este tipo de reservorios. Algunos de los trabajos revisados son los de Sruoga y Rubinstein (2002), sobre volcanitas de la provincia Chon Aike de Santa Cruz, Argentina y Mao *et al.* 2015; Pujun *et al.* (2015); Jinglan 2013, sobre reservorios volcánicos de cuencas situadas en China.

Este trabajo propone discretizar los eventos que corresponden al evento propio del enfriamiento del volcanismo, con los ocurridos ulteriormente con el soterramiento y aumento de temperatura en el campo de la diagénesis, dado que las rocas cuando son sometidas a agua circulante, ya sea bajo régimen meteórico y/o de compactacional, a presiones y temperaturas producto del soterramiento, sufren cambios físicos-químicos que se atribuyen a la diagénesis. Estos procesos diagenéticos afectan particularmente a este tipo de rocas con alto contenido de vidrio y minerales inestables.

## METODOLOGÍA

Para este estudio se llevó a cabo el análisis petrográfico de imágenes de alta resolución de cortes delgados de un total de 10 pozos que están ubicados en el yacimiento de Barrancas.

Se realizaron mosaicos con el equipo AxioScan by Zeiss, con un aumento de 20x en campo claro y polarizado. Los mosaicos se componen de 2000 a 3000 imágenes cada uno.

Se realizó el análisis de 31 cortes delgados provenientes de coronas y *cutting*. Se seleccionó un *set* de muestras para practicar el conteo de puntos para establecer su composición mineralógica, porosidad, cementos y reemplazos.

La porosidad se analizó por dos métodos, por un lado, se hizo conteo de puntos para establecer porcentajes por tipo de poros, y, por otro, se aplicó un procesamiento asistido de imágenes determinando valores por tipo de porosidad.

El conteo se realizó con una grilla diseñada con el programa ZEN by Zeiss y el procesamiento y cálculo de porosidades se realizó con JMicrovision.

Además, se contó con datos de difracción de rayos X (DRX) de roca total y fracción arcilla de uno de los pozos para el intervalo de estudio.

El análisis petrográfico, además de caracterizar textural y composicionalmente a las rocas, permitió definir el orden de formación de los cementos, reemplazos y disoluciones.

Adicionalmente al empleo de la petrografía se realizó un estudio de inclusiones fluidas (IF) por microtermometría, Fluorescencia UV y espectrometría Raman. Estas técnicas se practicaron sobre 4 muestras con el propósito de analizar las inclusiones fluidas de los cementos feldespáticos identificadas en las imágenes HR.

## DISCUSIÓN

Las muestras analizadas para el intervalo de la Formación Las Cabras consisten en rocas volcanoclásticas y silicoclásticas, del tipo areniscas líticas y limolitas.

Los procesos diagenéticos que ocurren en las rocas silicoclásticas se reconocieron también en las rocas volcanoclásticas.

Las rocas volcanoclásticas son tobas ignimbríticas, cineritas, tobas palagonitizadas y peperitas (González *et al.* 2022), (Fig. 3).

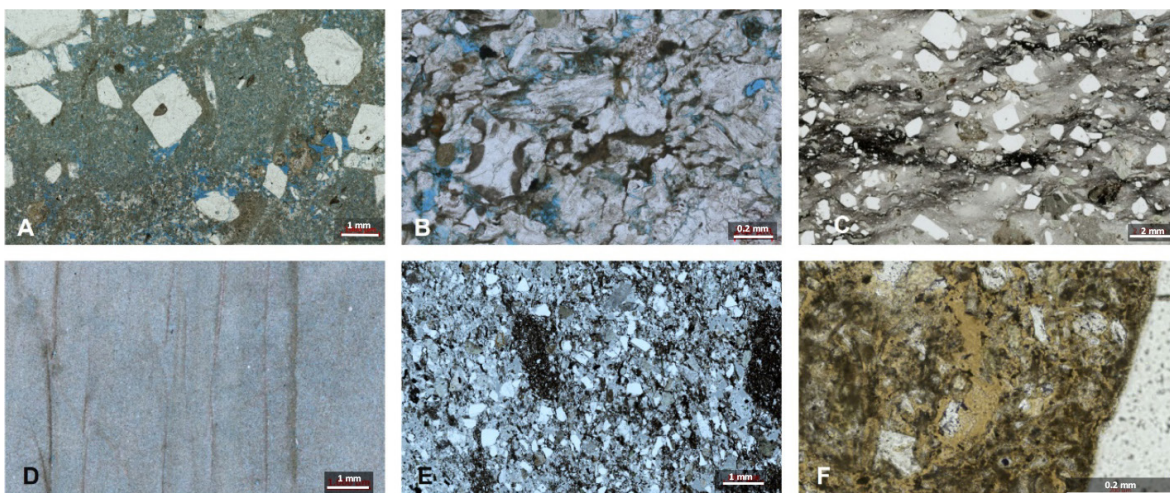


Figura 3. Tipos de rocas volcanoclásticas de la Formación Las Cabras. A. Ignimbrita. B. Ignimbrita. C. Ignimbrita. A, B y C muestran abundante alteración arcillosa. D. Toba con abundante microporosidad. E. Peperita. F. Volcanoclástica con vidrio palagonitizado (color castaño).

El resultado del conteo se muestra en la Figura 4, se observa la distribución de las proporciones de granos (líticos, cristaloclastos y vitroclastos), porosidad y cementos y/o reemplazos. La porosidad media está en el orden del 17% y domina el tipo interpartícula (entre partículas de vidrio de la matriz), predominantemente es microporosidad.

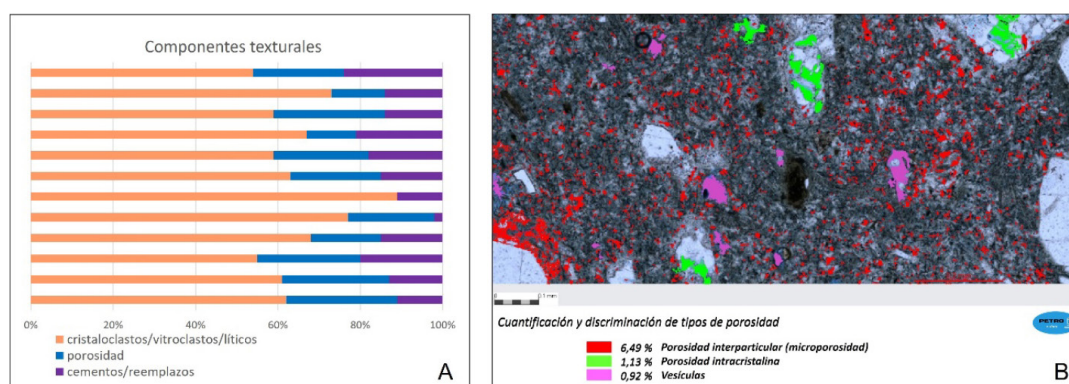


Figura 4. A. Distribución de los componentes texturales, cristaloclastos, líticos y vitroclastos, poros y cementos. B. Cuantificación de la porosidad por procesamiento asistido de imágenes.

El análisis petrográfico permitió discretizar los siguientes procesos que ocurrieron en las rocas desde su depositación. Estos procesos afectaron el sistema poral, ya sea generando volúmenes de poros por disolución como cementando y obliterando parte de la porosidad. Los procesos ocurrieron en el siguiente orden:

- Sobrecrecimiento de feldespatos
- Alteración arcillosa de líticos y componentes vítreos que originan arcillas de alteración
- Disolución de matriz vítrea
- Disolución de líticos
- Reemplazo de ceolitas
- Sobrecrecimiento de cuarzo
- Reemplazo de siderita
- Reemplazo de calcita

El sobrecrecimiento de feldespatos, que se encuentra rodeando los cristales de feldespatos, contiene abundantes inclusiones fluidas (Fig. 5 A). Este cemento se interpreta como generado en una fase inicial. En algunos cristales de feldespatos se observa sobrecrecimiento desprovisto de inclusiones, a veces cubriendo incipientemente el sobrecrecimiento con inclusiones. En otras ocasiones se presenta como un borde residual en poros móldicos que corresponden a feldespatos disueltos (Fig. 5 B). Este sobrecrecimiento sin inclusiones se interpreta como un cemento eodiagenético inicial. Parte del vidrio y de los fragmentos líticos muestran alteración arcillosa (Fig. 5 G), esto se atribuye a procesos iniciales en la eodiagénesis, ocurridos en condiciones meteóricas.

Las arcillas resultantes son modificadas en su composición y estructura en el transcurso de la mesodiagénesis. Las arcillas presentes, que constituyen entre 7% y 30%, según los análisis de DRX (LCV, 2003) son principalmente illita, illita-esmectita, caolinita y clorita.

La disolución parcial de vidrio volcánico y líticos se atribuye a la acción de aguas meteóricas debido a la composición químicamente inestable del vidrio, sumada a su alta superficie efectiva, y a los minerales ferromagnesianos de los fragmentos líticos.

Algunas muestras presentan reemplazo de ceolitas, principalmente analcima euédrico, se interpreta como ocurrida posteriormente a la disolución en condiciones meteóricas. En estos reemplazos es posible identificar fantasmas de trizas y fragmentos pumíceos.

El sobrecrecimiento de cuarzo ocurre de manera incipiente, con bajos volúmenes y recubriendo de manera discontinua a los cristales de cuarzo (Fig. 5 C y D), y se atribuye a la etapa de mesodiagénesis.

La siderita ocurre de dos maneras. Por un lado, se presenta como pequeños cristales euédricos dispersos que se interpretan como producidos en las primeras etapas de eodiagénesis, y por otro, como rosetas (Fig. 5 H), que reemplazan parte del vidrio y del cuarzo, esta siderita se interpreta como producida en la mesodiagénesis.

La disolución de feldespatos que da lugar a poros móldicos con o sin reborde de sobrecrecimiento de feldespato (Fig. 5 B) se interpreta como desarrollada en condiciones mesodiagénica.

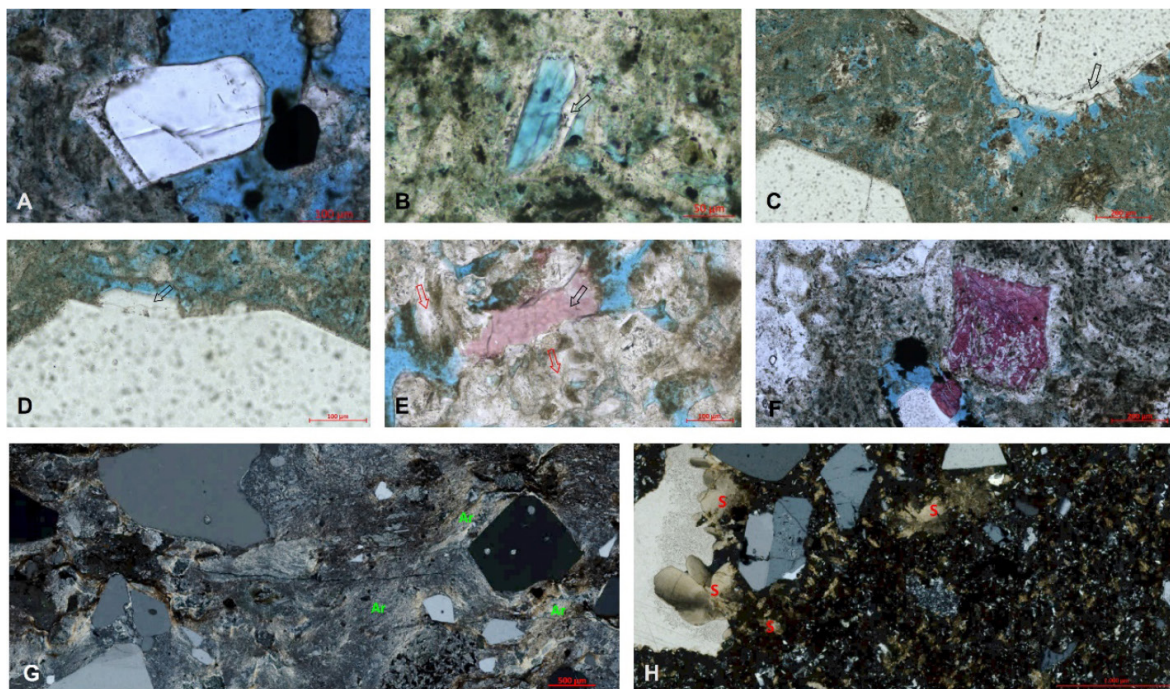


Figura 5. A. Sobrecrecimiento de feldespato con abundantes IF. B. Sobrecrecimiento de feldespato (flecha) sobre un cristal posteriormente disuelto. C y D. Sobrecrecimiento sobre un cristal de cuarzo. E. Reemplazo de vidrio por analcima (flecha roja) se reconocen fantasmas de fragmentos pumíceos. Relleno de poro con calcita (color rosa). F. Reemplazo de un feldespato con sobrecrecimiento con inclusiones por calcita ferrosa (color violáceo). G. Alteración arcillosa de vidrio (Ar), las arcillas se encuentran illitizadas. H. Rosetas de siderita (S) reemplazando parcialmente vidrio y cristal de cuarzo.

En algunas muestras se observa escasa calcita como relleno de poros (Fig. 5 E), y reemplazo (Fig. 5 F). Esta calcita se desarrolla posteriormente a los cementos antes descriptos.

Un tema en discusión fue el sobrecrecimiento de feldespatos, que presenta abundantes inclusiones fluidas dispersas (Fig. 5 A y F).

Este cemento se presenta como una fase inicial, su origen diagenético o deutérico puede ser definido por medio de microtermometría de inclusiones fluidas.

Se acudió a las técnicas directas de medición por espectrometría Raman. Esto permite obtener información química y estructural del mineral, así como las fases líquidas y/o gaseosas presentes en las inclusiones, las cuales no se logran definir por petrografía óptica. Este estudio permitió definir la composición del sobrecrecimiento como feldespato potásico de tipo ortosa y además confirmó la ausencia de fases gaseosas, por ejemplo, metano o CO<sub>2</sub>, (Fig. 6).

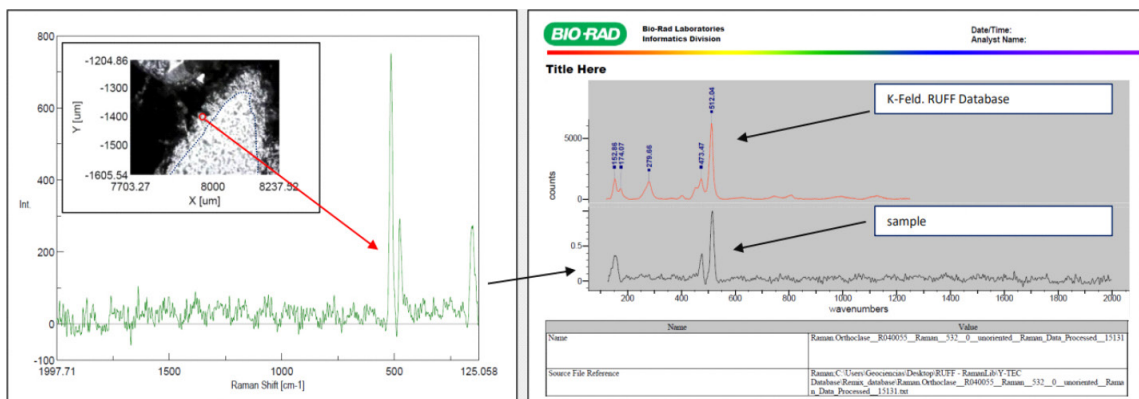


Figura 6. Caracterización mineral por espectrometría Raman de los sobrecrecimientos.

Esta técnica también fue utilizada para mejorar la precisión en las inclusiones fluidas. Se identificó la presencia de sobrecrecimientos en los cristales de feldespato (Fig. 7). El ancho promedio reconocido está en los 50-70 µm, pero con algunos cristales excepcionales en donde alcanzan los 150 µm.

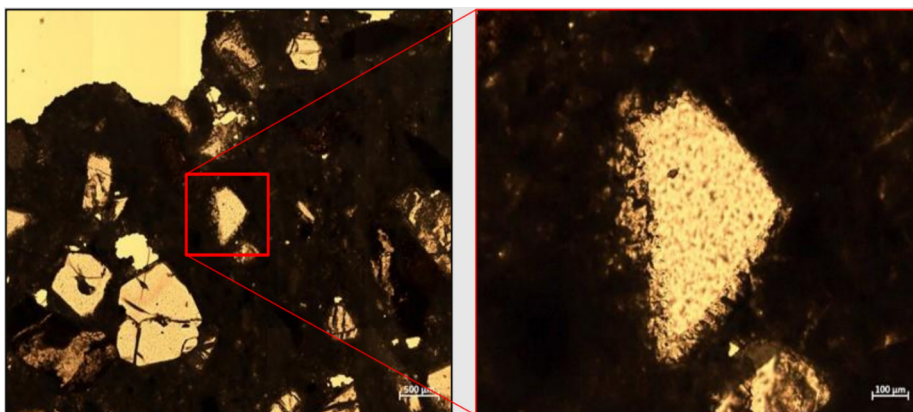


Figura 7. Identificación de sobrecrecimientos en feldespatos.

La presencia de pequeñas IF es abundante en la mayoría de los sobrecrecimientos, lo cual les confiere un aspecto “sucio”, permitiendo reconocerlos fácilmente del cristal núcleo. Estas IF se distribuyen a lo largo y ancho de todo el sobrecrecimiento, no estando claramente alineadas ni desarrollando *clusters* (Fig. 8).

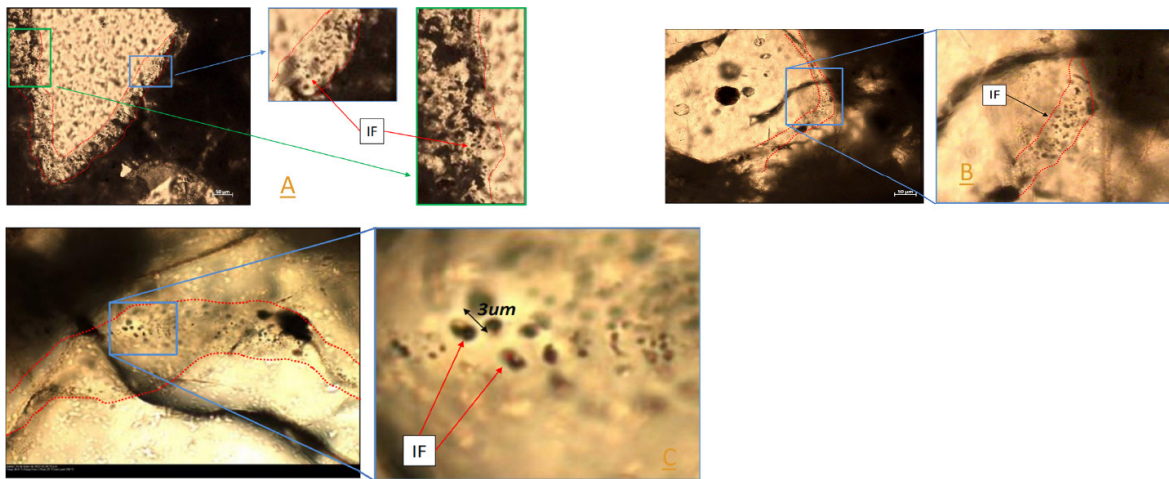
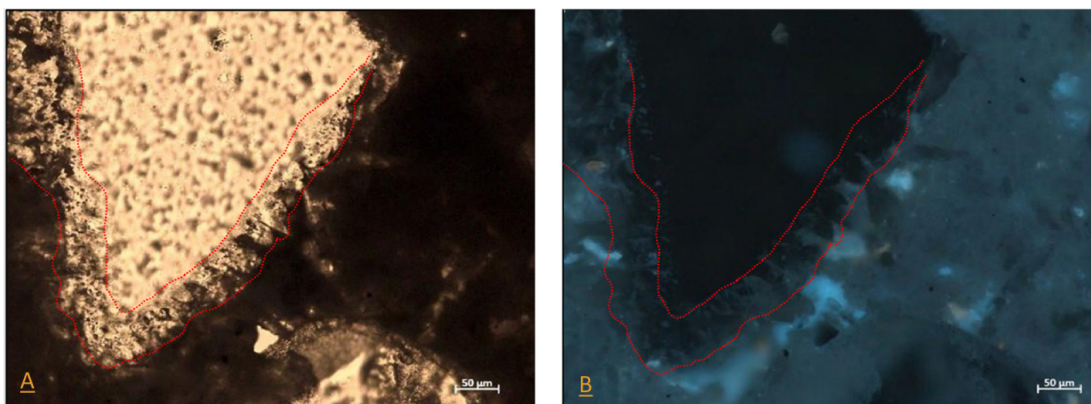


Figura 8. Localización y evaluación de las IF en los sobrecrecimientos de feldespato. A. Inclusiones fluidas en un sobrecrecimiento de feldespato. B. Detalle de inclusiones fluidas en un sobrecrecimiento de feldespato. C. Inclusiones fluidas bifásicas y detalle.

Se observaron las muestras bajo luz ultravioleta (UV) para descartar la presencia de IF con hidrocarburos líquidos, ya que los mismos son fluorescentes, no reconociendo IF con estas características. Todas las IF presentes en los sobrecrecimientos son de tipo acuosas (Fig. 9).



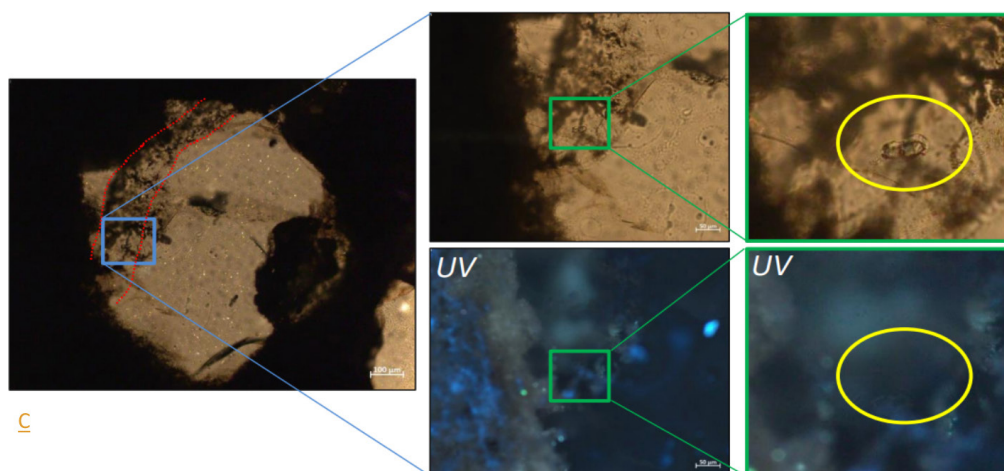


Figura 9. Evaluación de IF bajo luz ultravioleta. A. Inclusiones fluidas en campo claro. B. Inclusiones fluidas con luz fluorescente. C. Inclusiones fluidas en campo claro y luz fluorescente.

Si bien la mayoría de las IF reconocidas son muy pequeñas ( $<4-5 \mu\text{m}$ ) permiten identificarlas como tipo bifásicas (líquido-gas), observándose una burbuja correspondiente a la fase gaseosa y pudiéndose ver sus cambios de fases, determinando su temperatura de formación (Fig. 10). Sin embargo, en otras IF el tamaño ha sido el factor limitante que no permitió obtener una buena caracterización.

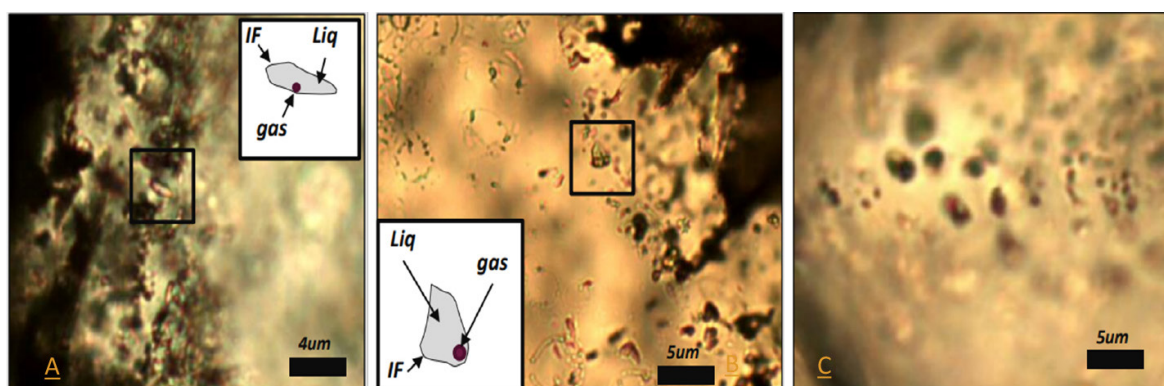


Figura 10. Identificación de IF bifásicas. A y B. Inclusiones bifásicas (recuadro). C. Detalle de inclusiones bifásicas.

El estudio termométrico se realizó en dos etapas: una primera etapa en la cual se llevaron las temperaturas en rampas de  $20^\circ\text{C}/\text{minuto}$ , desde temperatura ambiente ( $18^\circ\text{C}$ ) hasta temperaturas de  $250^\circ\text{C}$ , y luego una segunda etapa en la que se elevó la temperatura hasta los  $350^\circ\text{C}$ . La premisa era reconocer cambios de fase en las IF a temperaturas en el rango  $80^\circ\text{C}$ - $140^\circ\text{C}$ , las cuales son las temperaturas propias de procesos diagenéticos y, de no identificarlos, continuar con mayores temperaturas, pero ya en el campo de los procesos hidrotermales.

Los cambios de fase se comienzan a observar en las IF a partir de los  $230^\circ\text{C}$ . La segunda etapa, con rampas de mayores temperaturas permitió definir temperaturas de entrapamiento en el rango  $230^\circ$  a  $310^\circ\text{C}$ , llegando en algunos casos, incluso a superarlas.

La abundancia, tamaño pequeño y distribución homogénea de las IF se correspondería con un evento de formación de los sobrecrecimientos corto y rápido en el tiempo. Los estudios microtermométricos permiten estimar que los fluidos del cual precipitaron los sobrecrecimientos eran de naturaleza hidrotermal, con temperaturas en el rango 230°-300°C. La caracterización mineralógica obtenida por espectroscopia Raman y las texturas observadas en los sobrecrecimientos, junto con las temperaturas de formación medidas, permite definir a la adularia como la fase mineral que conforma los sobrecrecimientos.

## SISTEMA PORAL

El sistema poral evoluciona a partir de tres etapas, la primera corresponde a la etapa de enfriamiento, propias de las condiciones bajo las cuales se forman estas rocas. Se observaron poros que corresponden a vesículas (Fig. 11 B) y poros del tipo interparticulares (Fig. 11 C) e intraparticulares producto del enfriamiento del vidrio. La segunda etapa está representada por poros generados por la disolución de vidrio y fragmentos líticos bajo condiciones meteóricas, esto da lugar a ampliación de la porosidad interparticular en el vidrio y porosidad intragranular en fragmentos líticos. La tercera y última etapa corresponde a los poros originados por disolución de feldespatos y da lugar a poros móldicos (Fig. 11 A) intracristalinos (Fig. 11 D).

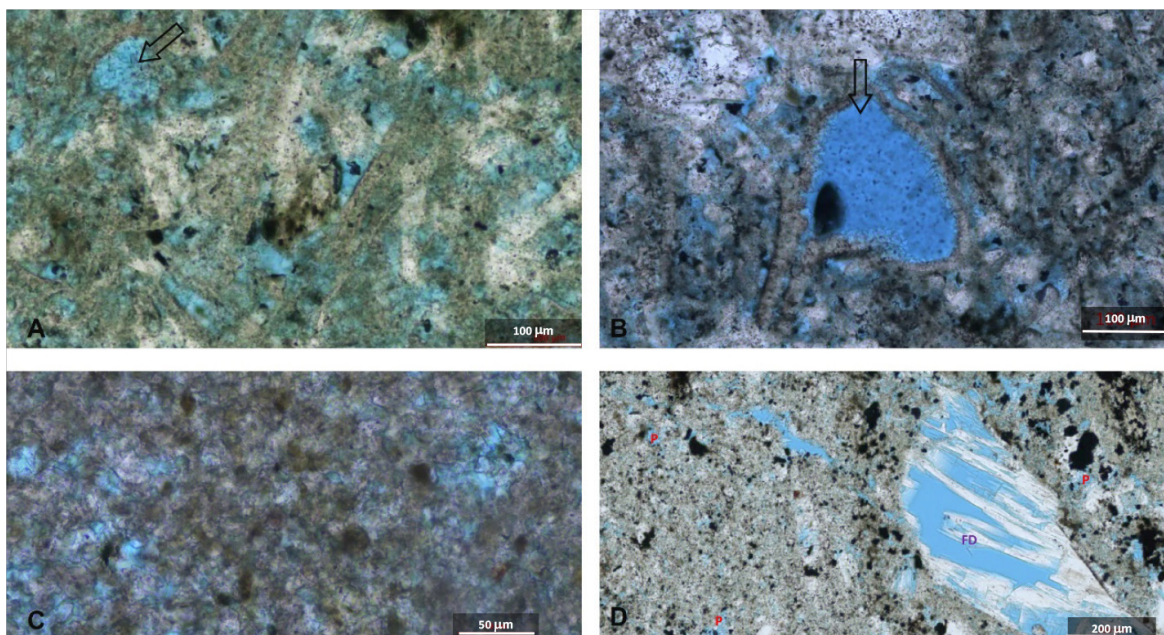


Figura 11. A. Poro móldico (flecha) por disolución de feldespato. El resto de la porosidad (color celeste) es una combinación de porosidad interparticular primaria y por disolución. B. Vesícula (flecha). C. Microporosidad en una toba (color celeste). D. Porosidad intracristalina (FD), en un feldespato parcialmente disuelto.

## CONCLUSIONES

Las rocas volcániclasticas de la Formación Las Cabras atravesaron procesos deutéricos en su fase inicial que dieron lugar a sobrecrecimiento de feldespatos a temperaturas cercanas a los 300°C, con inclusiones fluidas determinadas como de naturaleza hidrotermal por microtermometría. Este cemento precipitó de manera muy rápida, ocasionando abundantes inclusiones acuosas distribuidas al azar. La elevada temperatura de estas inclusiones permite asignar su ocurrencia dentro de los depósitos de flujos volcániclasticos antes de su enfriamiento. A partir del enfriamiento y posterior soterramiento estos depósitos estuvieron afectados bajo condiciones meteóricas por la alteración y disolución inicial de componentes inestables y sobrecrecimiento de feldespatos. En periodos posteriores de la diagénesis, en la mesodiagénesis, ocurrieron cementos de cuarzo, ceolitas y calcita, reemplazos de calcita y ceolitas, y una significativa disolución de feldespatos que sumó volumen poral al ya existente. De esta manera se adjudica el incremento de porosidad del reservorio en gran medida a procesos meteóricos eodiagenéticos y disolución mesodiagenética. La porosidad inicial en vesículas y microporosidad asociada a partículas de vidrio en el caso de las tobas de grano más fino da lugar a un importante volumen de poros con baja o nula conectividad. Este sistema poral inicial se vio favorecido por procesos diagenéticos que desarrollaron porosidades por disolución logrando mayor interconexión de los poros iniciales.

El análisis de inclusiones fluidas permitió definir el origen de los sobrecrecimientos de feldespatos de la etapa inicial y permitió vincularlos al propio proceso genético de estas rocas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Gerencia de Exploración de YPF S. A. el habernos permitido y facilitado la publicación de este trabajo.

## REFERENCIAS CITADAS

- González, C., Mykietiuik, K., Ruiz, Y., Petrinovic, I., Rodríguez Arias, L., 2022. Nuevo modelo geológico para los depocentros triásicos en el Bloque Barrancas, Cuenca Cuyana, Mendoza, Argentina. CONEXPLO22. Este Congreso.
- Kokogian, D. y Boggetti, D., 1987. Reconocimiento de las formaciones Barrancas y Punta de las Bardas en la zona de Paramillos de Uspallata, Provincia de Mendoza, Argentina, X Congreso Geológico Argentino, Actas III, pp. 131-134, San Miguel de Tucumán.
- Kokogian, D., Fernández Seveso, F. y Mosquera, A., 1993. Las Secuencias Sedimentarias Triásicas, en V. A. Ramos, ed., Relatorio y Recursos Naturales de Mendoza: XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, pp. 65-78, Mendoza.
- LCV, 2003. YPF.Md.B-484 (Barrancas) 1° y 2° ccc,

- Formación Las Cabras. Estudio Sedimentológico, Petrográfico, Diagenético, Mineralógico, de MEB y EDAX. Informe interno Repsol-YPF.
- Luo, J., Shao, H., Yang Y., Li, M, Luo C., 2013. Temporal and spatial evolution of burial e hydrocarbon filing e diagenetic process of deep volcanic reservoir in Songliao Basin. *Earth Sci Front* 20 (5):175e87.
- Mao, Z., Ru-Kai Z., Jing-Lan L., Jing-Hong W., Du, Z., Ling Su and Shao-Min Z., 2015. Reservoir Characteristics, Formation Mechanisms and Petroleum Exploration Potential of Volcanic Rocks in China. Springer.
- Spalletti, L. A., 2001. Evolución de las cuencas sedimentarias, en Artabe, A. E., Morel, E. y Zamuner, A., eds. *El Sistema Triásico en la Argentina*, Fundación Museo de La Plata “Francisco Pascasio Moreno”, pp. 81-101, La Plata.
- Sruoga P. Rubinstein N., 2002. Procesos deutéricos y diagenéticos en volcanitas de la provincia Chon-Aike, Santa Cruz, Argentina. Implicancias en el desarrollo de la porosidad y permeabilidad. En Cabaleri, N, Cingolani, C. A., Linares, E., López de Luchi, M. G.; Ostera, H.A. y Panarello, O (eds.). *Actas del XV Congreso Geológico Argentino*. CD-Rom.
- Wang P., Chen C., Zhang Y., Gao Y., Qu X., Yi J., 2015. Characteristics of volcanic reservoirs and distribution rules of effective reservoirs in the Changling fault depression, Songliao Basin. *Natural Gas Industry B*. Volume 2, Issue 5, pp. 440-448.
- Zencich, S., Calegari, R., Scolari J., Posse, J., Gómez, G, Boggetti, D. y Manceda, R., 2005. Trampas de hidrocarburos de la Cuenca Cuyana, en Kozlowski, E., Vergani, G. y A. Boll, eds., *Simposio Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina: VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, IAPG, pp. 93-110.
- Zencich, S., Villar, H. y Boggetti, D., 2008. Sistema Petrolero Cacheuta-Barrancas de la Cuenca Cuyana, Provincia de Mendoza, Argentina. *Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas*, Cruz, C., Rodríguez, J., Hechem, J y Villar, H. (eds).