

10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos  
Sesiones Generales: "Energía y Sociedad, aliados inseparables"

## PRESENCIA DE HIDROCARBURO VINCULADO A LOS DEPÓSITOS BARITO-POLIMETÁLICOS DEL ÁREA DE COLIPILLI, SECTOR CENTRO-OCCIDENTAL DE LA CUENCA NEUQUINA, ARGENTINA

Melisa A. Salvioli<sup>1</sup>, María F. Lajoinie<sup>1</sup>, Nora N. Cesaretti<sup>2</sup>, Mabel E. Lanfranchini<sup>3</sup>,  
Hernán G. de la Cal<sup>4</sup>, Remigio Ruiz<sup>5</sup>

1: CONICET-INREMI, La Plata, Argentina, melisa\_salvioli@hotmail.com.ar, florencialajo@hotmail.com

2: Depto. de Geología-UNS, Bahía Blanca, Argentina, nncesaretti@gmail.com

3: CIC-INREMI, La Plata, Argentina, lanfranchini@yahoo.com

4: ROCH S.A., Buenos Aires, Argentina, hdelacal@roch.com.ar

5: Y-TEC-CONICET, La Plata, Argentina, remigio.ruiz@ypftecnologia.com

Palabras clave: **Inclusiones Fluidas, Baritina, Hidrocarburos, Fluorescencia, Espectroscopia Raman, Cretácico Inferior, Cuenca Neuquina**

### ABSTRACT

Hydrocarbon records linked to barite-polymetallic deposits from the Colipilli area, central-western sector, Neuquén Basin, Argentina.

In the Colipilli area (central-western sector of the Neuquén basin, Neuquén province), the presence of hydrocarbon traces in barite deposits hosted in the contact zone between Chorreado Member, Huitrín Formation (Early Cretaceous) and intermediate composition subvolcanic bodies of Naunauco Group (60-70 Ma, Late Cretaceous-Tertiary) was studied. These traces were recognized as fluid inclusions (FI) trapped together with aqueous fluids in barite crystals.

The characterization of the FI was carried out through detailed petrographic studies and analytical techniques such as: (1) incident UV light that allowed inclusions with fluorescent hydrocarbons to be detected, (2) Raman spectroscopy, which determined the gaseous composition inside the inclusion (as methane and CO<sub>2</sub>) and (3) micro-thermometric studies that defined the physico-chemical conditions for the FI and the barite crystals formation (temperature and salinity).

The incident UV light allowed two types of FI to be identified, a non-fluorescent set, of aqueous nature, and a bluish tones strong-fluorescence one, of organic nature that indicates high values of Gravity coefficient in the range of 40° API.

Non-organic gaseous phases were identified through Raman spectroscopy studies in any of the two identified sets; however, the strong fluorescence in the Raman spectra of the organic FI indicated the presence of liquid hydrocarbon.

Finally, during heating test, micro-thermometric-assays, aqueous FI became homogeneous in the range of 162 to 241°C, while the liquid hydrocarbon contained in organic FI was cracked generating gaseous phases. Thus, this FI homogenization temperature does not correspond to the original entrapment fluid temperature, but also indicates the type of trapped hydrocarbon. This organic fluid cracking-temperature was 81°C, value located between the hexane and heptane vaporization point. According to the performed studies, the identification of liquid hydrocarbons in FI hosted in barite crystals reveals the occurrence of hydrocarbon migration process favored by the aqueous fluids

circulation. In this sense, the thermal input of Late Cretaceous-Tertiary magmatism could be the organic matter cracking generator or unless it could be participated in this process. This organic matter could have been contained in the carbonate host-rock of the Chorreado Member or enclosed into the source rocks present in the area.

In case of hydrocarbon generation model will be verified, the FI study could become a characterization and prospecting complementary method for petroleum systems related to igneous rock intrusions.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca Neuquina se encuentra ubicada en un margen tectónico activo donde se dieron condiciones geológicas favorables para la producción y preservación de materia orgánica (fundamentalmente de naturaleza marina), dando origen a la generación, migración y entrapamiento de hidrocarburos.

La zona de estudio del presente trabajo corresponde al área de Colipilli que se ubica en el sector centro-occidental de la mencionada Cuenca, más precisamente dentro de la Fosa del Agrio (Braccacini 1970) o Faja Plegada y Corrida del Agrio (Ramos 1978) (Fig. 1 a y b).

En este sector, se reconocen manifestaciones minerales de composición barito-polimetálicas que se alojan mayoritariamente en la zona de contacto entre las calizas laminadas del Miembro Chorreado de la Formación Huitrín (Cretácico Temprano) y cuerpos subvolcánicos de composición intermedia del Grupo Naunaucó (60-70 Ma, Cretácico Tardío-Terciario) (de Barrio *et al.*, 2014; Salvioli 2017).

El presente estudio corresponde a la caracterización de rastros de hidrocarburo, atrapados junto con fluidos acuosos, en inclusiones fluidas (IF) hospedadas en cristales de baritina. Las IF ocupan cavidades microscópicas (entre 1 y 100  $\mu\text{m}$ ) que quedan dentro de los minerales depositados o cristalizados a partir de una solución hidrotermal, pudiendo contener distintas fases (líquidos, sólidos y/o gases) (Roedder y Bodnar 1980; Velasco 2004). En inclusiones primarias, el contenido corresponde al fluido entrampado durante la cristalización del mineral y representa una pequeña muestra de la solución original. Por lo tanto, su estudio permite obtener datos del sistema hidrotermal en el que se formó el mineral: temperatura, presión, composición general del fluido y posible interacción entre fluidos de diferente origen (magmático, metamórfico, sedimentario u orgánico).

En este sentido y sobre la base de la información obtenida a partir de la caracterización de las IF, se espera proponer un modelo que explique el proceso de generación y migración de hidrocarburo en el área de Colipilli.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El contexto estructural en el cual se ubica el sector de estudio consta de una serie de plegamientos con orientación N-S asociados a fallas regionales que constituyen la Faja Plegada y Corrida del Agrio. Dicha unidad morfoestructural se caracteriza por presentar una historia de deformación multiepisódica que ha permitido separarla en dos zonas: una zona externa donde las estructuras son principalmente de “piel fina” y una zona interna (donde se encuentra el área de Colipilli) con predominio de estructuras de “piel gruesa” producto de la inversión tectónica (Fig. 1 b) (Ramos 1978, 1998; Zapata *et al.*, 2002; Zamora Valcarce *et al.*, 2006).

El control del basamento en la deformación de la zona interna se pone de manifiesto a través de un conjunto de bloques limitados en profundidad por fallas preliásicas sin expresión superficial (Zamora Valcarce *et al.*, 2009; Zapata y Folguera 2005). Las mismas corresponden a antiguas fallas normales invertidas y a fallas transversales de acomodación, ambos tipos pertenecientes al antiguo sistema extensional jurásico reactivado durante la deformación compresiva cretácica-terciaria

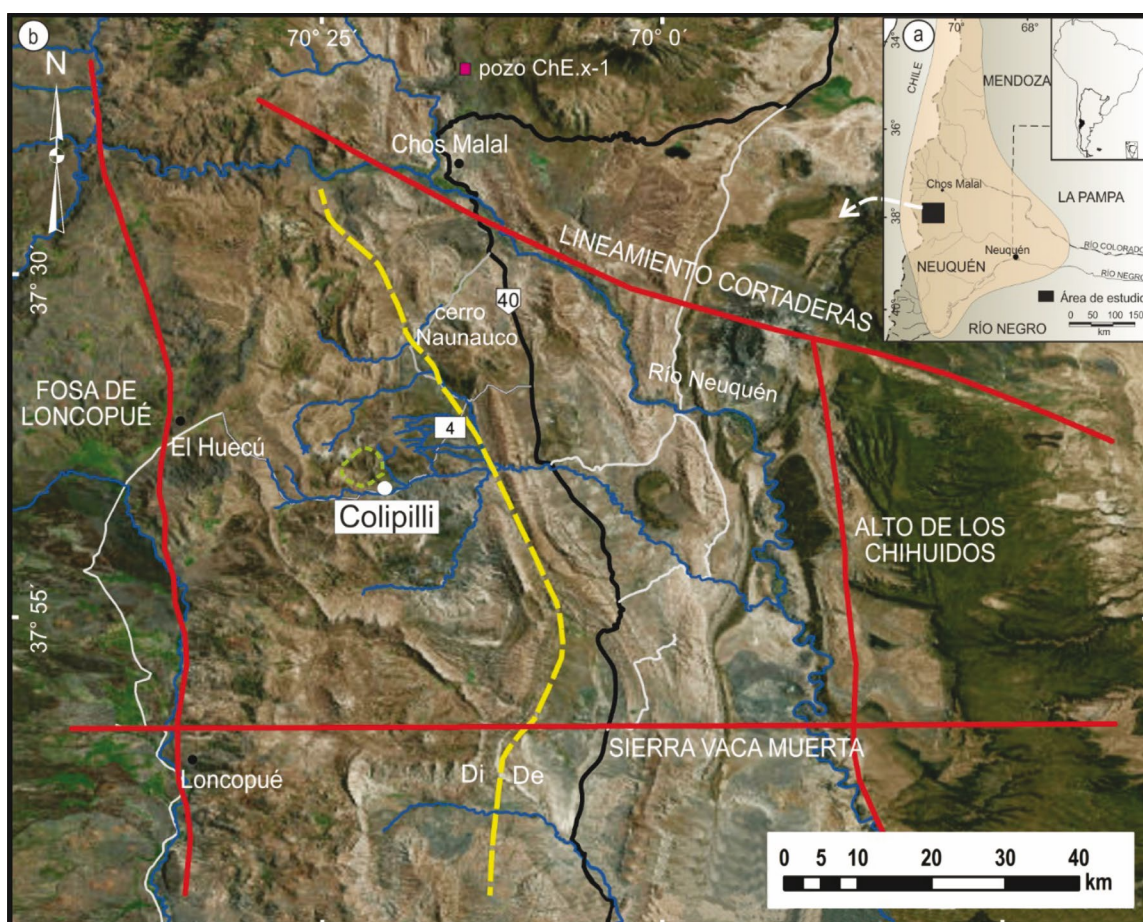


Figura 1. a. Ubicación del área de estudio. b. En líneas rojas, límites de la Faja Plegada y Corrida del Agrio (modificado de Zamora Valcarce *et al.*, 2006), donde se resalta la ubicación del área de Colipilli. La línea entrecortada amarilla indica el límite de deformación interna (Di) y externa (De). El círculo verde con línea entrecortada indica la procedencia general de las muestras estudiadas.

(Vergani *et al.*, 1995). Como producto de dichas estructuras profundas, se identifican varios bloques: Los Bueyes, Colipilli, Huncal, Cerro Mocho, El Durazno y La Pampa del Salado (Ramos 1998) (Fig. 2).

Las unidades estratigráficas más antiguas, aflorantes en el área de estudio (Fig. 3), corresponden a Formaciones del Grupo Mendoza (Stipanovic *et al.*, 1968): Vaca Muerta, Mulichinco y Agrio (Weaver 1931). Los afloramientos de las pelitas oscuras de la Formación Vaca Muerta son escasos, concentrándose en los núcleos de los anticlinales que han sido erosionados. Las areniscas de la Formación Mulichinco son de coloraciones castaño claras y poseen mayor potencial para preservarse y resistir a la erosión debido a la dureza de las rocas que la constituyen, también afloran en el núcleo de los anticlinales. La Formación Agrio, ubicada por encima de las anteriores, está bien representada en la zona de estudio y se encuentra integrada por los Miembros: Pilmatué, Avilé y Agua de la Mula. El primero, se caracteriza por la presencia dominante de pelitas, pelitas calcáreas y calizas de tonalidades gris verdosas a gris oscuras. Por otro lado, el Miembro Avilé está constituido por areniscas bien seleccionadas de grano medio y color gris a castaño claro, donde se aprecian estructuras de estratificación cruzada planar y en

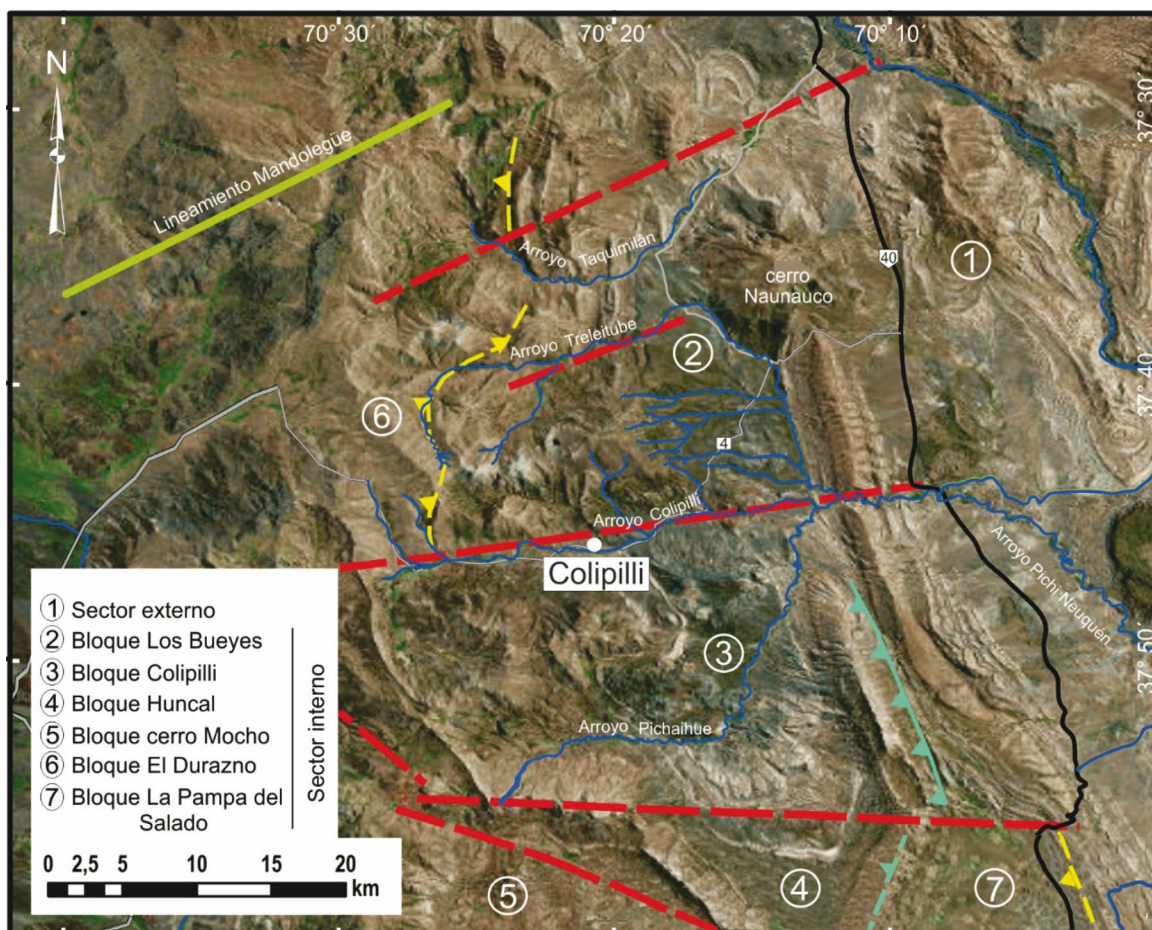
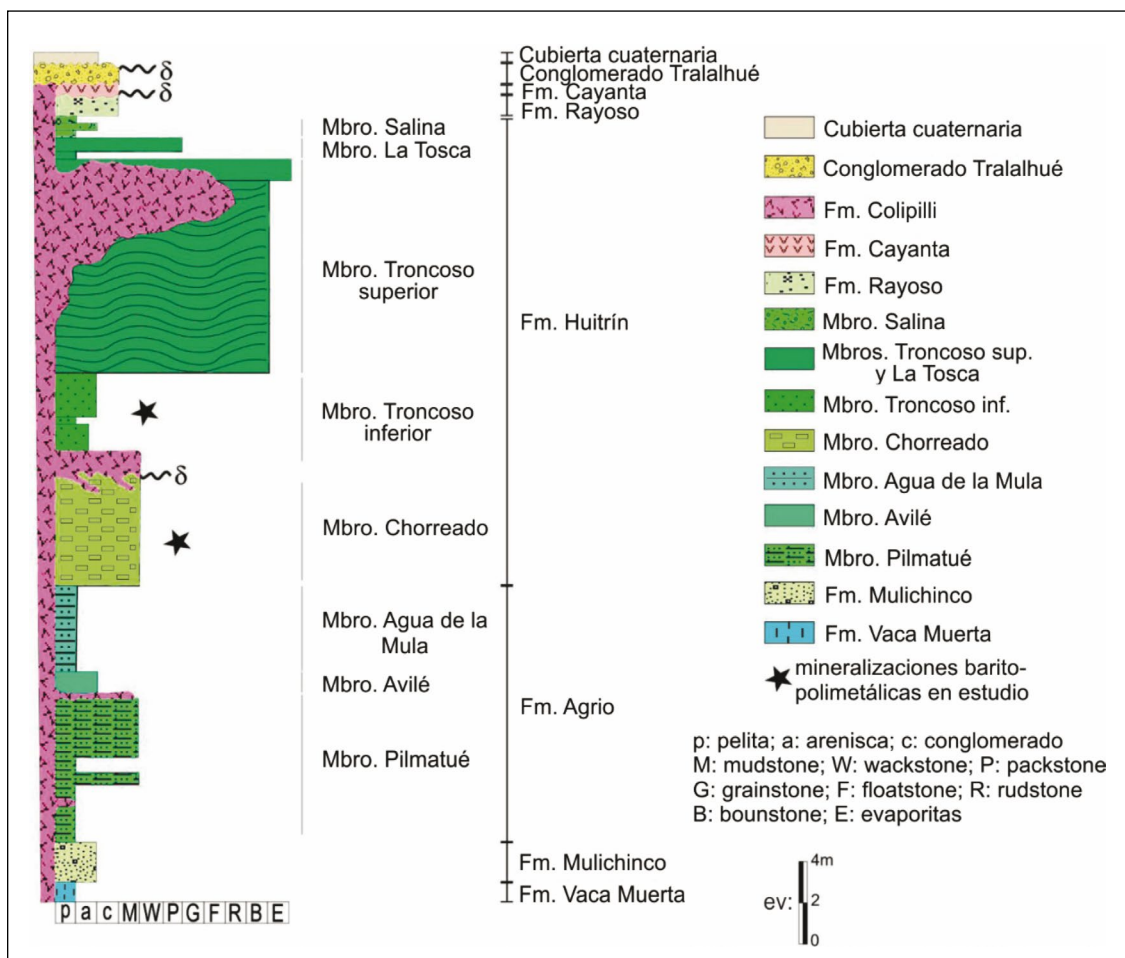


Figura 2. Esquema geotectónico en el cual se enmarca el área de Colipilli (modificado de Repol *et al.*, 2002, Rojas Vera 2011, Rojas Vera *et al.*, 2015). Las líneas rojas entrecortadas representan fallas preliásicas, las amarillas indican fallas preliásicas reactivadas en sentido inverso y las turquesas muestran fallas inversas.

artesa. Finalmente, el miembro Agua de la Mula, se caracteriza por la presencia de niveles pelíticos de coloración gris oscura intercalados con calizas micríticas castañas.

La sucesión estratigráfica continúa con las Formaciones que integran el Grupo Bajada del Agrio (Méndez *et al.*, 1995), Formaciones Huitrín y Rayoso. La Formación Huitrín (Groeber 1946) reúne a los Miembros: Chorreado, Troncoso Inferior y Superior, La Tosca y Salina. El Miembro Chorreado se encuentra sumamente plegado otorgándole, a los afloramientos del área, un aspecto ondulado. Se encuentra integrado principalmente por facies carbonáticas de tipo grainstone oolítico y mudstone que, según Gutiérrez Pleimling (1991), corresponde a un ambiente de rampa somera. Por otro lado, las estilolitas constituyen un rasgo diagenético frecuente en estas rocas, mientras que en superficie de meteorización, los canales de disolución son típicos. Mediando una superficie de discontinuidad erosiva, se desarrollan las areniscas del Miembro Troncoso Inferior, que consisten en areniscas de grano fino, porosas, de coloración ocre a blanquecina, con laminación fina y con desarrollo de ondulitas. Por su parte, el Miembro Troncoso Superior (en el área de estudio) se presenta en facies carbonáticas de tipo boundstone con una conspicua laminación. Finalmente, tanto el Miembro La Tosca, compuesto por dolomías y calizas castaño



claras de tipo wackestone y packstone con fuerte olor fétido, como el Miembro Salina, constituido por arcilitas varicolores, presentan escasos afloramientos en el área de estudio.

Completando los afloramientos del Grupo Bajada del Agrio se encuentran las areniscas rojizas con intercalaciones de fangolitas rojas (facies continentales tipo “red beds”) de la Formación Rayoso (Herrero Ducloux 1946).

Es de destacar el importante magmatismo que se observa en el sector de estudio, el cual está representado por facies intrusivas y extrusivas del Grupo Naunauco (Zamora Valcarce *et al.*, 2006). El mismo, está integrado por cuerpos subvolcánicos principalmente stocks, lacolitos, diques y filones capa de andesitas anfibólicas de la Formación Colipilli (Llambías y Rapela 1987, 1989) y facies extrusivas representadas por flujos piroclásticos y coladas andesíticas de la Formación Cayanta (Rapela y Llambías 1985).

Coronando toda la sucesión, se reconocen los depósitos sinorogénicos del Conglomerado Tralalhué (Ramos 1998) y la cubierta cuaternaria, compuesta por depósitos aluviales y coluviales, que completan la columna estratigráfica (Fig. 3).

## METODOLOGÍAS

La petrografía de detalle de las IF se llevó a cabo sobre un total de 18 muestras representativas de cristales de baritina del área de Colipilli (Fig. 1b), sobre las cuales se emplearon además, distintas técnicas analíticas tales como: fluorescencia incidente UV, espectroscopía Raman y estudios micro-termométricos.

Los estudios petrográficos fueron efectuados con un microscopio petro-calcográfico Nikon Optiphot-POL en el Instituto de Recursos Minerales de la Universidad Nacional de La Plata (INREMI-UNLP).

El análisis de fluorescencia incidente UV se llevó a cabo en un microscopio Nikon Eclipse 50iPOL con una lámpara de mercurio de 100W (halógena) integrada como fuente de iluminación con filtros para la irradiación en la banda ultravioleta, verde y azul. Dicho procedimiento se realizó en el Laboratorio de Luminiscencia del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (UNS, Bahía Blanca) con el fin de identificar la presencia de hidrocarburos en las inclusiones fluidas.

Los espectros Raman fueron obtenidos mediante un espectrómetro NRS-4100 de la firma Jasco, equipado con un láser de 532 nm y una potencia de 20 mW, verticalmente polarizado y con un set de filtros holográficos, acoplados a un sistema de microscopía Olympus, en el Laboratorio de Microscopía y Espectrometría Raman de Y-TEC (YPF Tecnología). Dicha técnica permite determinar la composición de los gases en el interior de la inclusión (como metano y CO<sub>2</sub>).

Los estudios micro-termométricos de IF se realizaron con un microscopio Olympus modelo BX50 al que se le ha adicionado una platina térmica Linkam MDS 600 que permite el calentamiento

de especímenes hasta los 600°C y enfriamiento a base de nitrógeno líquido que baja la temperatura hasta los -196°C, en el Departamento de Geología de la UNS y en una platina Linkam THM600 en el Instituto de Recursos Minerales-Universidad Nacional de La Plata-Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (INREMI-UNLP-CICBA). Esta metodología permite conocer las condiciones térmicas de la formación de los minerales analizados.

### Petrografía de inclusiones fluidas con luz transmitida y ensayos de fluorescencia

La clasificación de las IF se realizó teniendo en cuenta: su génesis (Roedder 1963), su tamaño y el número de fases presentes y el relieve y color de la burbuja. Complementariamente, considerando la posible presencia de hidrocarburos, se realizaron otras observaciones de acuerdo al criterio de Burrus (1981) como: (1) color, las IF con hidrocarburo frecuentemente pueden ser de color amarillo, castaño y/o negro; (2) índice de refracción, los hidrocarburos tienen índices de refracción que se aproximan a los de los minerales hospedantes; (3) comportamiento de las fases a baja temperatura, durante el congelamiento pueden observarse diferentes fenómenos que indican la presencia de hidrocarburo (Roedder 1963) y (4) respuesta bajo microscopía de fluorescencia, las IF que contienen hidrocarburos aromáticos emiten fluorescencia bajo luz ultravioleta.

Si bien desde el punto de vista de su génesis pudieron reconocerse IF primarias, secundarias y pseudosecundarias, los estudios micro-termométricos se realizaron sobre las IF primarias para conocer la temperatura y composición del fluido original.

De acuerdo al número de fases presentes en las IF éstas fueron denominadas como: Tipo I (una única fase, generalmente líquida), Tipo II (líquido+gas) y Tipo III (líquido+gas+sólido) (Fig. 4).

| Tipo de IF | Número de Familias | Morfología                                                                          | Fluorescencia | Composición                 |
|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| I          | 1                  |  | ✗             | Acuosa                      |
| II         | 4                  |  | ✗             | Acuosa                      |
|            |                    |  | ✗             | Acuosa                      |
|            |                    |  | ✗             | Acuosa                      |
|            |                    |  | ✓             | HC + Gas                    |
| III        | 2                  |  | ✓             | H <sub>2</sub> O + HC + Gas |
|            |                    |  | ✗             | Acuosa                      |

Figura 4. Tipos de inclusiones fluidas (IF) identificadas en las mineralizaciones barito-polimetálicas. HC: hidrocarburo.

Las IF Tipo I corresponden a una familia de inclusiones caracterizada por tener hábito subhedral y relieve normal. Por otro lado, las IF Tipo II están representadas por cuatro familias de inclusiones: la primera presenta hábito anhedral y una fase líquida (L) con muy bajo índice de refracción, similar al de la baritina (1,63-1,64); la segunda familia también posee hábito anhedral pero con relieve moderado; la tercera reúne IF de hábito euhedral, con burbuja incolora y la cuarta familia (la más abundante) se caracteriza por reunir IF de hábito anhedral y relieve moderado a alto. La fase líquida es mayoritariamente incolora mientras que la burbuja es incolora a rosada.

Las IF Tipo III consisten en dos familias de inclusiones que presentan relieve normal, hábito subhedral y fases sólidas incoloras con hábito tabular prismático. Se diferencian entre sí por el relieve y color de la burbuja: la primera familia presenta una burbuja de alto relieve con tonalidades rosadas, mientras que la segunda presenta una burbuja de bajo relieve e incolora.

Todas las familias reconocidas de IF registran tamaños que varían entre 20 y 40  $\mu\text{m}$ .

Con el fin de determinar la presencia o ausencia de hidrocarburos dentro de las IF, y de esta forma evitar la medición de temperaturas erróneas, se utilizó la técnica de fluorescencia con luz UV. Este método es una herramienta expeditiva y de gran utilidad, ya que permite distinguir rápidamente las inclusiones acuosas, que no fluorescen, de aquellas inclusiones con hidrocarburos que sí lo hacen (Burrus 1981). De esta forma, las IF fueron separadas en dos grandes sets o grupos:

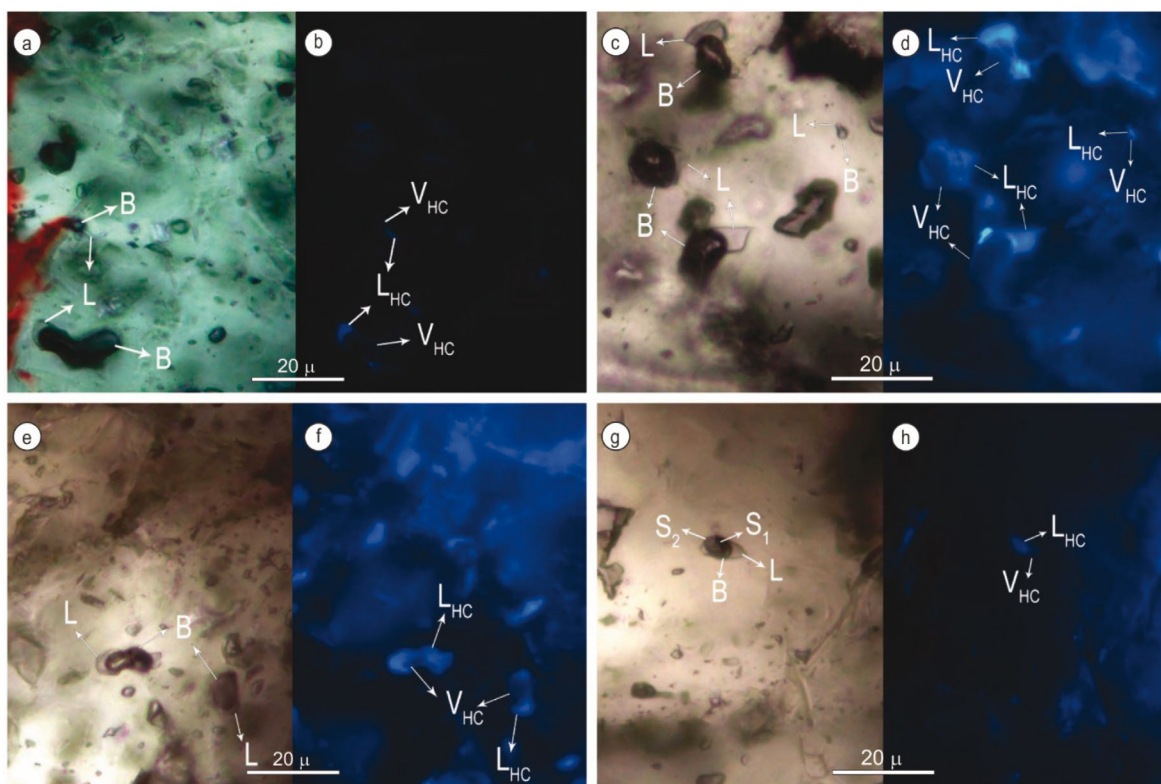


Figura 5. Inclusiones fluidas del Tipo II (a-b, c-d, e-f) y III (g-h) en cristales de baritina observadas con luz transmitida (a,c,e,g) y con luz UV (b,d,f,h). Las coloraciones de fluorescencia de las fases líquidas (L) son celestes. B: burbuja, LHC: hidrocarburo líquido, VHC: hidrocarburo gaseoso, S1: sólido 1, S2: sólido 2.

un set no fluorescente que incluye a todos los tipos de IF, excepto a la cuarta familia del Tipo II y a la primera familia del Tipo III que forman el segundo set fluorescente (Fig 5 a-h). Estos resultados indicarían una composición acuosa para el primer set, mientras que el segundo presentaría fases orgánicas en su interior.

Cabe destacar que la fluorescencia se identificó en la fase líquida (L).

## Espectroscopía Raman

La espectroscopia Raman es una técnica no destructiva, rápida y de alta resolución que permite la caracterización de materia orgánica, la determinación de fases líquidas y gaseosas presentes en inclusiones y la definición de mineralogías, entre otras aplicaciones (Frezzotti *et al.*, 2012).

Los estudios Raman confirmaron la composición acuosa del set no fluorescente y la presencia de un hidrocarburo líquido en el set de IF con fuerte fluorescencia (cuarta familia de Tipo II y primera familia de Tipo III). No obstante, no fue posible una discriminación clara de los picos característicos ya que los espectros están fuertemente afectados por el fenómeno de fluorescencia (Fig. 6). La elevada fluorescencia, como la que emiten los hidrocarburos que contienen grupos cíclicos o aromáticos (Burke 2001), es una limitante de la técnica, ya que la misma es de varios órdenes de magnitud mayor con respecto a las señales del Raman y como consecuencia las enmascara.

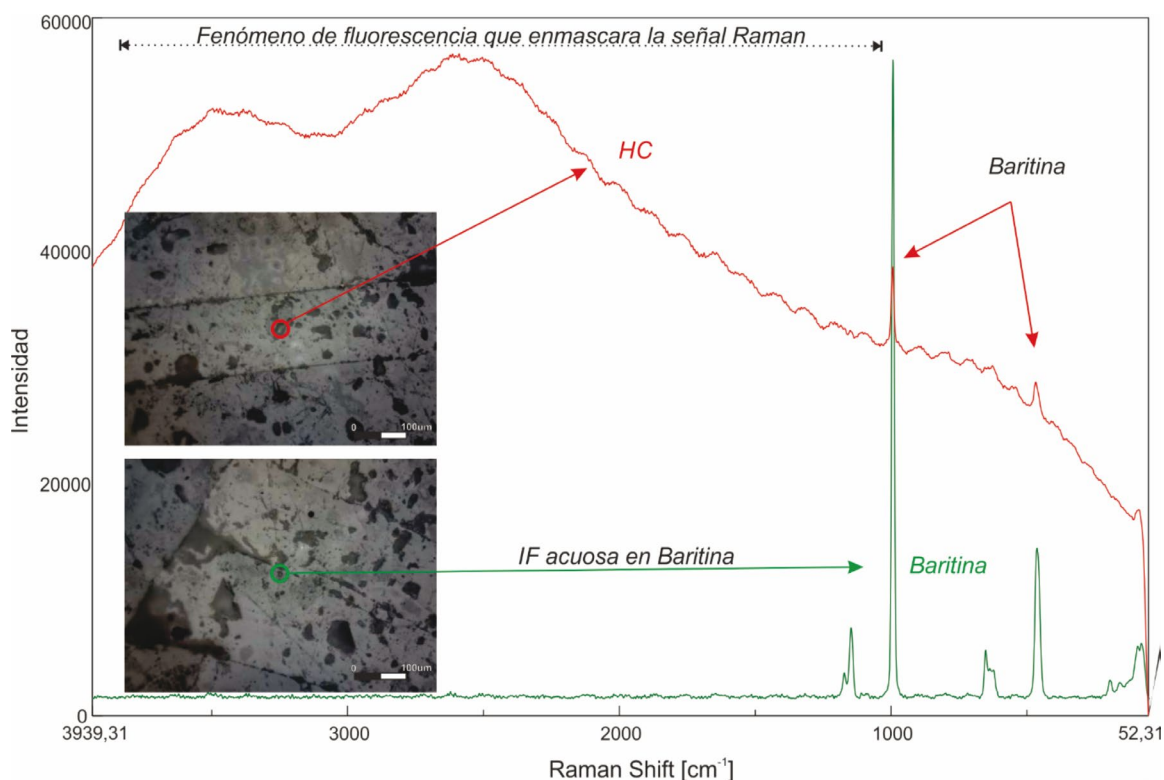


Figura 6. Espectros Raman obtenidos en inclusiones fluidas (IF), alojadas en cristales de baritina, acuosas (en verde) y con hidrocarburos (en rojo). En este último espectro, se reconoce el fuerte efecto de enmascaramiento que produce la fluorescencia de los hidrocarburos sobre la señal Raman. HC: hidrocarburo.

Por otra parte, no se reconocieron compuestos volátiles no acuosos y no fluorescentes, como por ejemplo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  o  $\text{CH}_4$ , que habitualmente acompañan a los hidrocarburos en fase líquida que migran de la roca madre (Burke 2001).

### Micro-termometría

Durante los ensayos micro-termométricos, todas las muestras fueron inicialmente enfriadas a  $-120\text{ }^\circ\text{C}$ , con el fin de poder detectar  $\text{CO}_2$  y minimizar la posibilidad de decrepitación de las IF por calentamiento, y luego calentadas gradualmente hasta estabilizar el sistema. Durante dicho calentamiento se midieron las temperaturas de la fusión inicial (Tfi) y de fusión final del hielo (Tff), a partir de las cuales se determinó la composición del fluido (utilizando las Tfi y tablas de Goldstein y Reynolds 1994) y su concentración salina (mediante la ecuación de Bodnar 1993). Finalmente, (durante los ensayos de calentamiento) se registraron las temperaturas de homogeneización líquido-vapor o mínima de entrapamiento (Th) de las IF (Roedder 1984).

Durante el enfriamiento, las burbujas de las IF acuosas desaparecieron normalmente, mientras que en las IF con fases orgánicas la burbuja se deformó adoptando un aspecto rugoso y formas irregulares en la interfase líquido/burbuja. Durante la recuperación de la temperatura (calentamiento) del sistema, se pudo reconocer en las IF acuosas una Tfi de amplia distribución entre  $-44,0$  y  $-21,1\text{ }^\circ\text{C}$  correspondiente a los sistemas  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl-CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  metaestable y  $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$  metaestable (Goldstein y Reynolds 1994). Las Tff se midieron entre los  $-5,3$  y  $-0,3\text{ }^\circ\text{C}$ , indicando salinidades del orden de 0,53 a 8,28% en peso equivalente de NaCl. Finalmente, la gran mayoría de las burbujas de las IF acuosas mostraron un movimiento browniano y homogeneizaron a líquido entre los 162 y  $241\text{ }^\circ\text{C}$  (Th), mientras que el hidrocarburo líquido contenido en las IF orgánicas se craqueó a los  $81\text{ }^\circ\text{C}$  generando fases gaseosas.

## DISCUSIÓN

El estudio de inclusiones fluidas se ha convertido, en los últimos años, en una importante herramienta para el estudio del sistema petrolero (Cesaretti 1993; Cesaretti y Domínguez 1997; Cesaretti *et al.*, 2000; González Partida *et al.*, 2008a y b; González Sánchez *et al.*, 2009).

En el área de Colipilli, sector centro-occidental de la Cuenca Neuquina, el estudio de inclusiones fluidas hospedadas en cristales de baritina permitió determinar la presencia de hidrocarburo líquido.

La petrografía de detalle posibilitó la identificación de diferentes tipos (I, II y III) y familias de IF primarias, que guardan la información sobre el fluido a partir del cual se formaron. Algunas de estas inclusiones presentaron fluorescencia al ser observadas con luz incidente UV, esto indica que parte de los fluidos entrapados son de origen orgánico. Los estudios de espectroscopia Raman

demonstraron que aquellas IF que exhibieron fuerte fluorescencia contienen hidrocarburo líquido.

Los resultados de los ensayos micro-termométricos arrojaron temperaturas de homogeneización para el sistema en el rango de los 162 a 241°C y permitieron caracterizar por un lado un fluido acuoso, con una o más sales disueltas y por otro, un fluido orgánico que se craqueó a los 81°C. Por lo tanto, mientras que la Th para las IF acuosas indica la temperatura de entrapamiento original del fluido, para las IF con fases orgánicas dicha temperatura caracteriza el tipo de hidrocarburo que las mismas contienen (Goldstein y Reynolds 1994). En este caso, la Th para fluidos orgánicos, corresponde a un valor ubicado entre el punto del hexano y del heptano (ciclohexano, Proskuriakuv y Drabkin 1984), caracterizados por ser compuestos orgánicos de enlaces simples. De esta forma, además del reconocimiento de los fluidos orgánicos fue posible estimar la composición del hidrocarburo sobre la base de su color de fluorescencia (tonalidades azuladas) y su punto de vaporización identificado por el cambio de fases durante el ensayo de congelamiento-calentamiento a los 81°C.

Numerosos autores (Bodnar 1990; Tsui 1990; Stasiuk y Snowdon 1997) han correlacionado el color de la fluorescencia con el coeficiente gravimétrico API. El aumento en la longitud de onda de la emisión fluorescente corresponde a una disminución en los grados API del hidrocarburo. Así, las fluorescencias de color verde, anaranjado y rojizo corresponden a valores API más bajos que para emisiones con diferentes tonalidades de azul (Riecker 1962) (Fig. 7). La fuerte fluorescencia en tonalidades azuladas que presentaron las IF del Tipo II, cuarta familia y Tipo III, primera familia, manifiestan un hidrocarburo de avanzada madurez (livianos), con una gravedad API mediana a alta, en el rango de 40°, correlacionable con la ventana de generación de hidrocarburos líquidos/gaseosos. Este grado de madurez del hidrocarburo es acorde al determinado por Legarreta *et al.*, (2008) para el distrito Puesto Rojas-El Portón dentro del cual se encuentra incluido el área de Colipilli. Asimismo, hacia el norte del área de Colipilli, en el sector sur de la Fosa de Chos Malal, Cruz *et al.*, (1996) concluyeron, a partir de evidencias geológicas, que la madurez térmica modelada de las rocas madres de la zona no concuerdan con los valores de madurez y el hidrocarburo líquido aportados por el pozo BS.Nq.ChE.x-1 (Chapúa Este, Fig. 1b) ni con los datos medidos sobre afloramientos y cutting. De acuerdo a estos autores, una hipótesis que explicaría los elevados niveles de madurez detectados involucra la existencia de una anomalía térmica durante el final del Cretácico y principios del Terciario, que habría incrementado el flujo calórico en el área. A partir de este modelo, la concomitante instauración del arco volcánico en el área de Colipilli (representada por stocks, lacolitos, filones capa y diques) podría haber generado las condiciones necesarias para incrementar la temperatura en las celdas convectivas donde las aguas de formación pudieron haber comenzado a circular y a lixiviar elementos metálicos de toda la pila sedimentaria altamente reactiva. En este contexto la materia orgánica presente en las rocas madres reconocidas en el área (Formaciones Vaca Muerta y Agrio), pudo haberse craqueado o bien, hidrocarburos líquidos ya generados previamente pudieron interactuar con las aguas de formación y migrar

juntos (dada la flotabilidad del hidrocarburo en agua y su mayor adherencia, Carothers y Kharaka 1978), hasta su entrapamiento durante la cristalización de las baritinas.

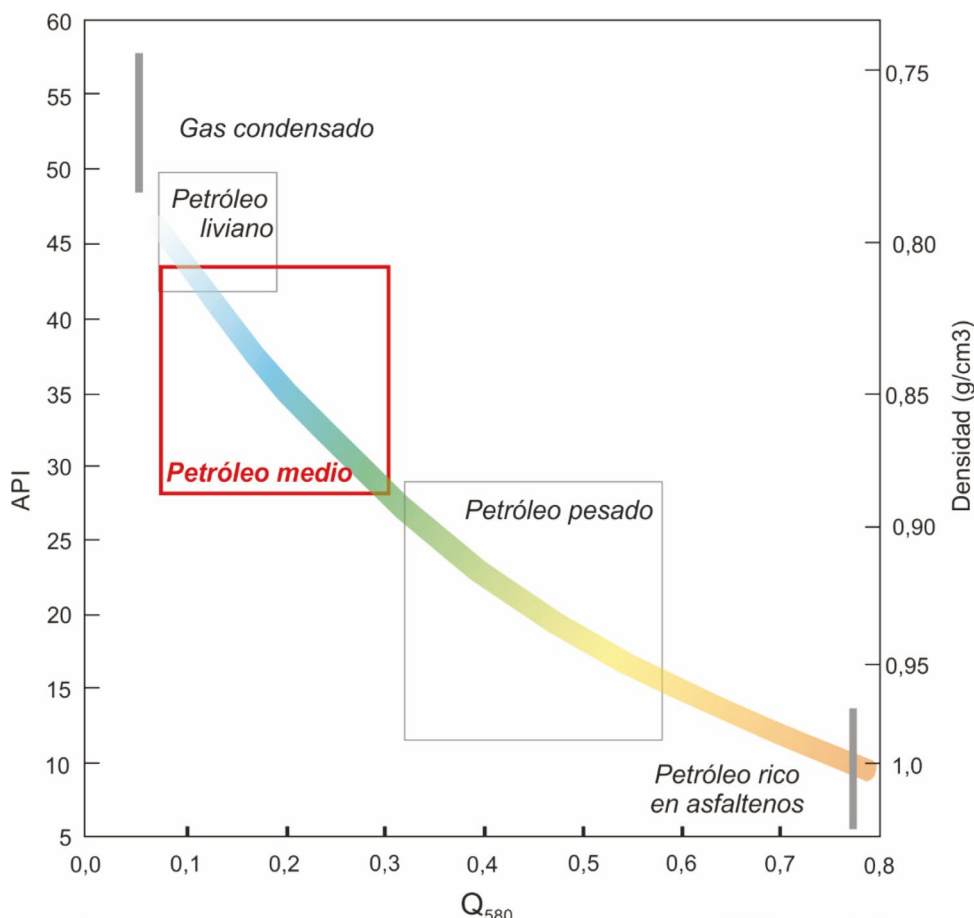


Figura 7. Diagrama de correlación entre densidad, API, Q580 (índice de cuantificación del grado de fluorescencia) y color de fluorescencia UV en hidrocarburos (tomado de Kihle *et al.*, 2012). En rojo se resalta el campo de la fase de hidrocarburo identificado en las inclusiones fluidas analizadas.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación son relevantes tanto a escala local como regional, ya que la metodología y secuencia de trabajo presentada permitió determinar: la presencia y la composición del hidrocarburo presente en las IF hospedadas en los cristales de baritina y la temperatura del sistema hidrotermal del área de Colipilli. De esta forma, se considera que el estudio de inclusiones fluidas complementado con fluorescencia incidente UV, es una nueva herramienta complementaria para la caracterización y prospección de los sistemas petroleros presentes en toda la Cuenca Neuquina.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación ha sido financiado con subsidios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el marco del proyecto PIP-0285, de la Universidad Nacional de La Plata (Proyectos 11N 540 y 692) y de la Society of Economic Geology (SEG, USA). Finalmente, queremos agradecer el valioso apoyo institucional de la Universidad Nacional del Sur y de Y-TEC (YPF Tecnología).

## REFERENCIAS CITADAS

- Bodnar, R.J., 1990, "Petroleum migration in the Miocene Monterey Formation, CA, USA: constraints from fluid-inclusion studies", *Mineralogical Magazine*, 54: 295-304.
- Bodnar, R.J., 1993, "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solutions", *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 57: 683-684.
- Braccini, I.O., 1970, "Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén", *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25 (2): 275-282.
- Burke Ernst A.J., 2001, "Raman microspectrometry of fluid inclusions", *Lithos* 55: 139-158.
- Burrus, R.C., 1981, "Hydrocarbon fluid inclusions in studies on sedimentary diagenesis", En Hollister, L.S. y Crawford, M.L. (Eds.), *Short Course handbook*, V. 6, Fluid inclusions: applications to petrology, Mineralogical Association of Canada: 138-154.
- Carothers, W.W. y Kharaka, Y.K., 1978, "Aliphatic acid anions in oil-field waters- Implications for origin of natural gas", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 62: 2441-2453.
- Cesaretti, N.N., 1993, "Inclusiones fluidas de hidrocarburos: Su utilidad en la interpretación del proceso de migración y maduración del petróleo", Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur. (Inédito), 170 p. Bahía Blanca.
- Cesaretti, N.N. y Domínguez, E.A., 1997, "Inclusiones fluidas y porosidad: indicadores diagenéticos y sus implicancias oleogénicas en la Formación Yacoraite (Cretácico - Terciario). Subcuenca de Lomas de Olmedo. Cuenca Cretácica del Noroeste Argentino", *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 1-25.
- Cesaretti, N.N., J. Parnell y E.A. Domínguez, 2000, "Pore fluid evolution within a hydrocarbon reservoir: Yacoraite Formation (Upper Cretaceous), North west Basin, Argentina", *Journal of Petroleum Geology* 23: 375-398.
- Cruz, C.E., H.J. Villar y G.N. Muñoz, 1996, "Los sistemas petroleros del Grupo Mendoza en la Fosa de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina", En: XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1, Buenos Aires, p. 45-60.
- de Barrio, R.E., R.O. Etcheverry, M.A. Del Blanco, E.A. Domínguez, C. Recio Hernández, R.I. Escobar y M.A. Salvioli, 2014, "Nuevos datos y esquemas genéticos de los depósitos baritocolestínicos vinculados a la secuencia jurásico-cretácica de la Cuenca Neuquina en la provincia del Neuquén", *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71: 184-200.

- Frezzotti M.L., F. Tecce y A. Casagli, 2012, "Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis", *Journal of Geochemical Exploration*, 112: pp. 1-20.
- Goldstein, R.H. y Reynolds, T.J, 1994, "Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals", *SEPM Short Course* 31, 199 p.
- González-Partida, E., A. Camprubí, C. Canet y F. González-Sánchez, 2008a, "Fisicoquímica de salmueras e hidrocarburos en cuencas petroleras y en depósitos minerales tipo Mississippi Valley y asociados. Parte I: temperatura, presión y composición de inclusiones fluidas", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(1): 11-22.
- González-Partida, E. A. Camprubí, P. Morales-Puente, E. Cienfuegos-Alvarado, C. Canet y F. González-Sánchez, 2008b, "Fisicoquímica de salmueras e hidrocarburos en cuencas petroleras y en depósitos minerales tipo Mississippi Valley y asociados Parte II: ejemplos de la Cuenca de Sabinas y la Cuenca del Sureste, México", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(1): 23-42.
- González-Sánchez, F., A. Camprubí, E. González-Partida, R. Puente-Solís, C. Canet, E. Centeno-García y V. Atudorei, 2009, "Regional stratigraphy and distribution of epigenetic stratabound celestine, fluorite, barite and Pb-Zn deposits in the MVT province of northeastern Mexico", *Mineralium Deposita* 44: 343-361.
- Groeber, P., 1946, "Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal", *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1: 177-208.
- Gutiérrez Pleimling, A.R., 1991, "Estratigrafía de la Formación Huitrín: un estudio puntual sobre la ruta Nacional N° 40, provincia del Neuquén", *Boletín de Informaciones Petroleras*: 85-100.
- Herrero Ducloux, A., 1946, "Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extraandino", *Boletín de Informaciones Petroleras*, 23: 245-281, Buenos Aires.
- Kihle, J., J.H. Hurum y L. Liebe, 2012, "Preliminary results on liquid petroleum occurring as fluid inclusions in intracellular mineral precipitates in the vertebra of *Pliosaurus funkei*", *Norwegian Journal of Geology* 92: 341-352.
- Legarreta, L., H.J. Villar, C.E. Cruz, G.A. Laffitte y R. Varadé, 2008, "Revisión integrada de los sistemas generadores, estilos de migración-entrapamiento y volumetría de hidrocarburos en los distritos productivos de la Cuenca Neuquina, Argentina", *VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Imaginando un nuevo siglo. Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas*. (Eds.) Cruz, C.E., J.F. Rodríguez, J.J. Hechem y H.J. Villar. IAPG. Mar del Plata, Argentina: 79-108.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W., 1987, "Las vulcanitas de Colipilli y sus relaciones con las provincias volcánicas del Terciario inferior de Neuquén-Mendoza y Patagonia", *X Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán)*, Actas 4: 249-251.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W., 1989, "Las volcanitas de Colipilli, Neuquén (37°S) y su relación con otras unidades paleógenas de la cordillera", *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44: 224-236.
- Méndez, V., J.C.M. Zanettini y E.O. Zappettini, 1995, "Geología y metalogénesis del Orogéno Andino Central, República Argentina", *Dirección Nacional del Servicio Geológico, SEGEMAR, Anales* 23: 1-190.
- Proskuriakuv, V.A. y Drabkin, A.E., 1984, "Química del petróleo y del gas", Editorial: MIR MOSCU, 407p.
- Ramos, V.A., 1978, "Estructura", En: Roller, E.O. (Ed.): *Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del VII Congreso Geológico Argentino*, 233-237, Buenos Aires.

- Ramos, V.A., 1998, "Estructura del sector occidental de la Faja Plegada y Corrida del Agrio, Cuenca Neuquina, Argentina", 10° Congreso Geológico Latinoamericano y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 105-110, Buenos Aires.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J., 1985, "La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina", IV Congreso Geológico Chileno, 4: 458-488, Antofagasta.
- Repol, D., H. A. Lanza, P. Sruoga y C. A. Hugo, 2002, "Evolución tectónica del Cenozoico de la comarca de Choriaca, Provincia del Neuquén, Argentina", XV Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 200-205.
- Riecker, R.E., 1962, "Hydrocarbon fluorescence and migration of petroleum", American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 46: 60-75.
- Roedder, E., 1963, "Studies of fluid inclusions II: Freezing data and their interpretation", Economic Geology 58: 167-211.
- Roedder, E., 1984, "Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy", 12 Mineralogical Society of America: 644 p.
- Rojas Vera, E.A., 2011, "Evolución Tectónica de los Andes Centrales Australes (36-39°S): el caso de un orógeno reactivado extensionalmente, la Fosa de Loncopué", Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, (Inédito), 190 p.
- Rojas Vera, E.A., J. Mescua, A. Folguera, T.P. Becker, L. Sagripanti, L. Fennell, D. Orts y V.A. Ramos, 2015, "Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquén: Insights from structural analysis and apatite fission track dating", Journal of South American Earth Sciences 64: 418-433.
- Roedder, E. y Bodnar, R., 1980, "Geologic pressure de-terminations from fluid inclusion studies", Annual review of earth and planetary sciences, 8: 263.
- Salvioli, M.A., 2017, "Geología y génesis de los depósitos barítico-polimetálicos (Ba-Fe-Pb-Cu-Zn-Mn) del área de Colipilli, sector centro-occidental de la Cuenca Neuquina", Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, (Inédito), 298p.
- Stasiuk, L.D. y Snowdon, L.R., 1997, "Fluorescence micro-spectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: crude oil chemistry, density and application to petroleum migration", Applied Geochemistry 12: 229-241.
- Stipanovic, P.N., F. Rodrigo, O.L. Baulies y C.G. Martínez., 1968, "Las formaciones presenonianas del denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes", Revista de la Asociación Geológica Argentina 23: 367-388.
- Tsui, T. F., 1990, "Characterizing fluid inclusion oils via U.V. fluorescence microspectrophotometry - a method for projecting oil quality and constraining oil migration history", Bulletin American Association of Petroleum Geologists 74: 781.
- Velasco, F., 2004, "Introducción al estudio de las inclusiones fluidas", XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenia, 98 p, Mendoza.
- Vergani, G.D., A.J. Tankard, H.J. Belotti y H.J. Welsink, 1995, "Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén basin, Argentina", En: Tankard, A.J., R. Suarez y H.J. Welsink (Eds.): Petroleum Basins of South America, American Association of Petroleum Geologists Memoire, 62: 383-402.
- Weaver, C., 1931, "Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west central Argentina", Memoir University of Washington 1: 1-469. Seattle.

- Zamora Valcarce, G., T.R. Zapata, D. del Pino y A. Ansa, 2006, "Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt". En: Kay, S.R. y Ramos V.A. (Eds.): Evolution of an Andean margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S lat.), Geological Society of America, Special Paper 497: 125-145.
- Zamora Valcarce, G., T. Zapata, V.A. Ramos, F. Rodríguez y L.M. Bernardo, 2009, "Evolución tectónica del Frente Andino en Neuquén", Revista de la Asociación Geológica Argentina 65: 192-203.
- Zapata, T.R., S. Córscico, F. Dzelalija y G. Zamora Valcarce, 2002, "La faja plegada y corrida del Agrio: Análisis estructural y su relación con los estratos terciarios de la cuenca neuquina, Argentina", V Congreso de exploración y desarrollo de Hidrocarburos, Actas electrónicas, Mar del Plata.
- Zapata, T. y Folguera, A., 2005, "Tectonic evolution of the Andean fold and thrust belt of the Southern Neuquén basin, Argentina", En: Veiga, G., L. Spalletti, J. Howell y E. Schwarz, (Eds.): The Neuquén Basin: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics, Special Publication, Geological Society of London, 37-56.