

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DE IGNIMBRITAS PRECUYANAS EN LA SIERRA DE CHACAICO, NEUQUÉN, CON ÉNFASIS EN SU POTENCIAL PETROLERO

D'Elía, Leandro¹ y Juan Franzese²

^{1,2} Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). CONICET - Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 1 n° 644, B1900TAC, La Plata, Buenos Aires, Argentina. <http://cig.museo.unlp.edu.ar>

Palabras clave: Cuenca Neuquina, sin-rift, ignimbrita, Precuyano

ABSTRACT: *Lithologic and structural characterization of precuyana ignimbrites in the sierra chacaico, neuquén, with an emphasis on its hydrocarbon potential.* The Lapa Formation (upper Triassic – lower Jurassic) represents a sin-rift deposit in the Sierra Chacaico area, south of the Neuquén basin. This unit is primarily composed by volcanoclastic and volcanic deposits, which in the subsurface have been correlated with productive formations. The Tin Tin Ignimbrite is a powerful pyroclastic deposit which forms the Lapa Formation in the Sierra Chacaico (Neuquén). The results of this work indicate that the Tin Tin Ignimbrite, of fienorhyolitic composition, was originated by pyroclastic ash flows below the glass transition temperature. It is altered by volcanic solutions of neutral to alkaline pH, < 100° C temperatures, with a limited contribution of meteoric waters. The petrophysic studies reveal similar total porosity values in the entire column, between 8 and 10%. The existence of four types of porosities was determined (inherent to the intershard space; generated by the gas pipes; caused by the alteration/dissolution of fiammes and pumice vitroclasts; caused by microfractures and hydraulic fractures), which were dependant on processes related to volcanism. Structures of Brittle deformation were also found (fractures and fissures) associated to brittle shear zones and hinge zones, which are only proper of ignimbrites and could play a key role in the development of a mesoscopic scale secondary porosity.

INTRODUCCIÓN

La cuenca Neuquina está ubicada en el centro oeste de Argentina, entre los 34°- 41° de latitud sur y los 66°- 71° de longitud oeste. Esta cubeta se originó como resultado de un importante evento de extensión continental, ocurrido entre el Triásico medio y el Jurásico inferior, consecuente del deslinde del margen occidental de Gondwana (Uliana *et al.* 1989; Legarreta y Uliana 1996; Franzese y Spalletti 2001). Los depósitos sintectónicos iniciales han sido reunidos con el nombre de Precuyano (Gulisano 1981; Gulisano *et al.* 1984) y más recientemente como Mesosecuencia Precuyo (Legarreta y Gulisano 1989). Estos depósitos pueden rondar los 1500 metros de potencia (Vergani *et al.* 1995) comprendiendo depósitos volcánicos y volcanoclasticos, con participación de depósitos clásticos en facies continentales (Gulisano *et al.* 1984).

La exploración petrolera reciente, ha puesto en evidencia la presencia de un sistema petrolero profundo asociado a los depósitos sintectónicos iniciales, donde la roca reservorio dominante está constituida por sucesiones volcánicas y volcanoclasticas ácidas. La producción de hidrocarburos está controlada por alteración, fracturación y enfriamiento que darían lugar a modelos de doble porosidad (Pángaro *et al.* 2002). En el sector occidental de la cuenca existen excelentes afloramientos de estas sucesiones litológicas que han sido exhumados por diversos procesos de inversión tectónica (Vergani *et al.* 1995). Estos afloramientos, pueden constituir un laboratorio natural para la observación directa de los potenciales reservorios piroclásticos. Una de las localidades tipo para los depósitos en cuestión es la Sierra de Chacaico (Fig.1), en esta localidad afloran extensas secuencias del Precuyano, conocidas desde los estudios iniciales de la cuenca (Lambert 1948; Leanza 1990). Uno de los rasgos más característicos es la abundancia de potentes secuencias de flujos piroclásticos que en subsuelo han sido correlacionados con formaciones productoras (Pángaro *et al.* 2002). El objetivo del presente trabajo, es caracterizar litológicamente y estructuralmente una de las unidades de flujos piroclásticos, poniendo especial énfasis en sus aspectos comparativos con las rocas reservorio equivalentes. Los resultados obtenidos apuntan a una mejor comprensión sobre su yacencia y contribuir al entendimiento sobre las variables que intervienen en su potencial como rocas reservorio de hidrocarburos.

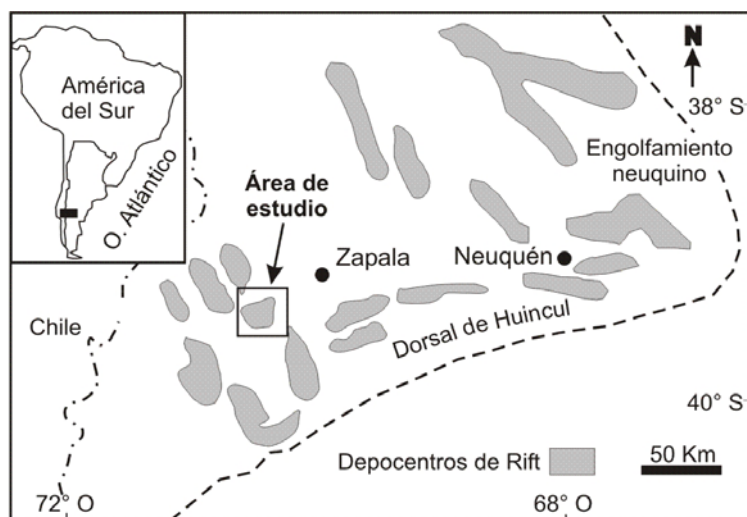


Figura: 1 Sector sur de la cuenca Neuquina. Se indica la distribución de los depocentros iniciales y la zona de estudio. Tomado de Franzese y Spalletti 2001.

MARCO GEOLÓGICO

La sierra de Chacaico está ubicada en el extremo más occidental de la Dorsal de Huincul (Fig.1), la cual comprende un conjunto grábenes invertidos que constituyen una de las estructuras de inversión más conspicua de la Cuenca Neuquina (Vergani *et al.* 1995). En dicha localidad aflora tanto el basamento ígneo-metamórfico como las secuencias de sin-rift y post-rift inicial (Fig. 2 y 3). El marco estructural de la Sierra de Chacaico es complejo, resultado de diversos eventos de extensión e inversión tectónica ocurridos a lo largo de su historia (Vergani *et al.* 1995). La misma, constituye un anticlinal de rumbo NE-SO con vergencia predominantemente hacia el NO. El área de trabajo (Fig. 3) se localiza en el sector central del flanco oriental de la sierra, en las proximidades de la localidad Chacaico sur.

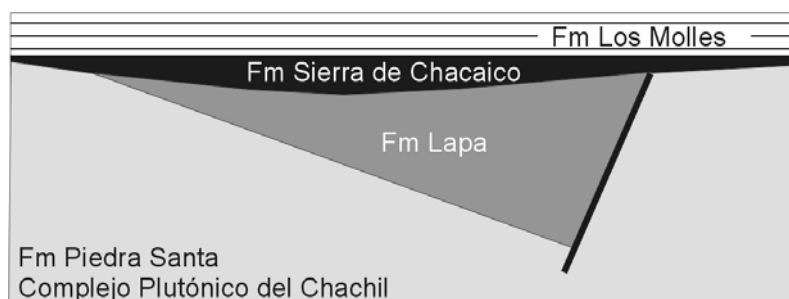


Figura: 2 Se muestra las unidades estratigráficas aflorantes en el área y su marco tectoestratigráfico.

El pre-rift está constituido por metamorfitas de la Formación Piedra Santa, de edad Carbonífero superior y granitoides del Complejo Plutónico del Chachil, de edad Carbonífero superior - Pérmico inferior. Los depósitos de sin-rift precuycanos de esta localidad han sido designados como Formación Lapa, de edad Triásico superior - Jurásico inferior (Leanza 1990; Spalletti *et al.* 1991). Esta unidad está compuesta en un 60 % por depósitos volcanoclásticos y en un 40 % por cuerpos lávicos de composiciones variables (Leanza 1990). En su base afloran brechas y en menor proporción lavas de composiciones intermedias a ácidas. La sección intermedia está compuesta por depósitos tobaceos primarios y reelaborados, mayormente psamíticos y de tonalidades verdosas que rematan con cuerpos efusivos de composiciones basálticas. En esta sección se intercala un potente depósito de flujo piroclástico con contactos concordantes o localmente discordantes y espesores variables, alcanzando potencias de hasta 70 metros (Fig.3). En este trabajo se lo ha denominado informalmente como Ignimbrita Tin Tin. La sección superior se caracteriza por la presencia de depósitos ignimbríticos asociados con brechas y conglomerados. Por encima de la Formación Lapa aparece la Formación Sierra de Chacaico, que constituye el post-rift inicial del área (Franzese y Spalletti 2001), seguida por rocas de ambiente marino profundo (Formación Los Molles).

IGNIMBRITA TIN TIN

La Ignimbrita Tin Tin constituye la mayor parte del afloramiento en la zona central de la Sierra de Chacaico (Fig. 3). Se expone como una unidad masiva, de colores castaño amarillentos, tonalidades claras y abundante matriz, ligera o medianamente soldada. Apoya con contactos concordantes o discordantes sobre lavas de composiciones intermedias a ácidas, brechas polimícticas con matriz psamítica de colores rojizos y sobre depósitos tobaceos primarios y reelaborados, de tonalidades verdosas que se presentan estratificados y laminados. En algunos casos, el contacto basal aparece brechado, mientras que en otros no se aprecia. En general la unidad se caracteriza por poseer un grado variable de fracturación, grietas y venas que en determinados sitios alcanzan una gran densidad. También se aprecian cavidades centimétricas generadas por la alteración de pómez y *fiammes*, y huecos de dimensiones métricas de hasta 3 m³, originados por el desprendimiento de bloques, favorecido por la intersección de fracturas.

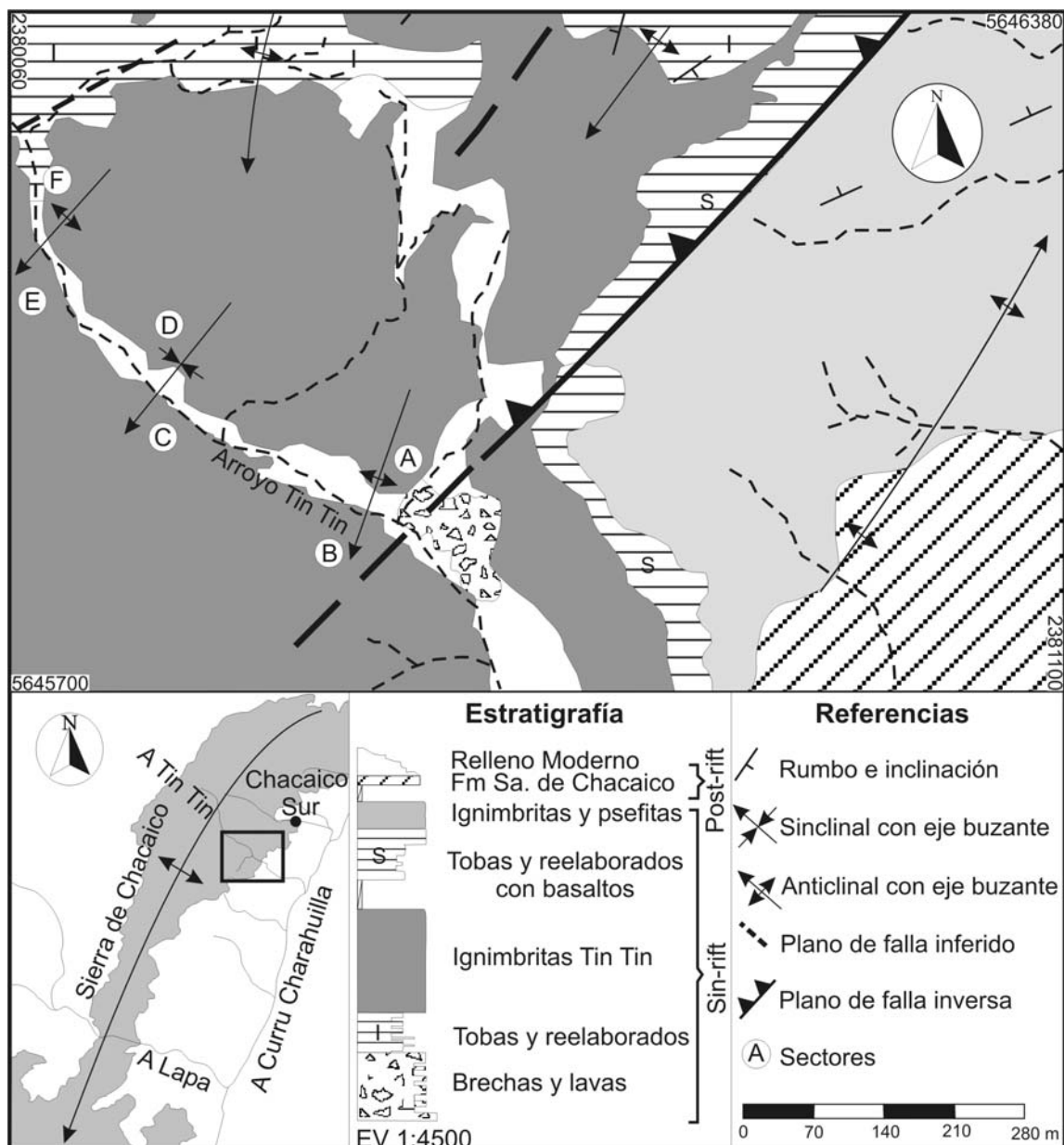


Figura 3: Mapa geológico del área de estudio.

PETROGRAFÍA

Las rocas en cuestión son ignimbritas de abundante matriz, donde se observan tanto vitroclastos no fragmentados desprovistos de deformación (pómez) como deformados, constituyendo *fiammes* de morfologías variables y tamaños de entre 0,5 a 3 centímetros (Fig. 4). Los cristaloclastos son fenocristales de

cuarzo acompañados en menor cantidad de fenocristales de feldespatos potásicos, plagioclasas y biotitas. Los litoclastos son escasos, compuestos de rocas epiclásticas y volcánicas. En función de las características anteriormente mencionadas, se trata de una ignimbrita vítrica, de composición fenoriolítica.

Sobre la base de sus características físicas, la Ignimbrita Tin Tin fue dividida en 3 sectores: basal, medio y superior. El sector basal se caracteriza por escasa cantidad de pómez y *fiammes*. A escala microscópica se observa que la matriz está en parte soldada y parcialmente desvitrificada a una textura felsítica. Los cristaloclastos son fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, constituyendo entre el 15 al 20%. El cuarzo aparece como individuos bipiramidales hexagonales de vértices redondeados, con indicios de corrosión magmática percibida por canalículos, bordes engolfados y reabsorciones en las partes internas del cristal, además presentan microfracturas rellenas por soluciones silíceas. Los fenocristales de plagioclasa, feldespato potásico y biotita son escasos y se encuentran alterados. Es importante resaltar que se percibieron microfracturas hidráulicas y canalículos de escape de gases (*pipes*), parcialmente rellenos con sílice.

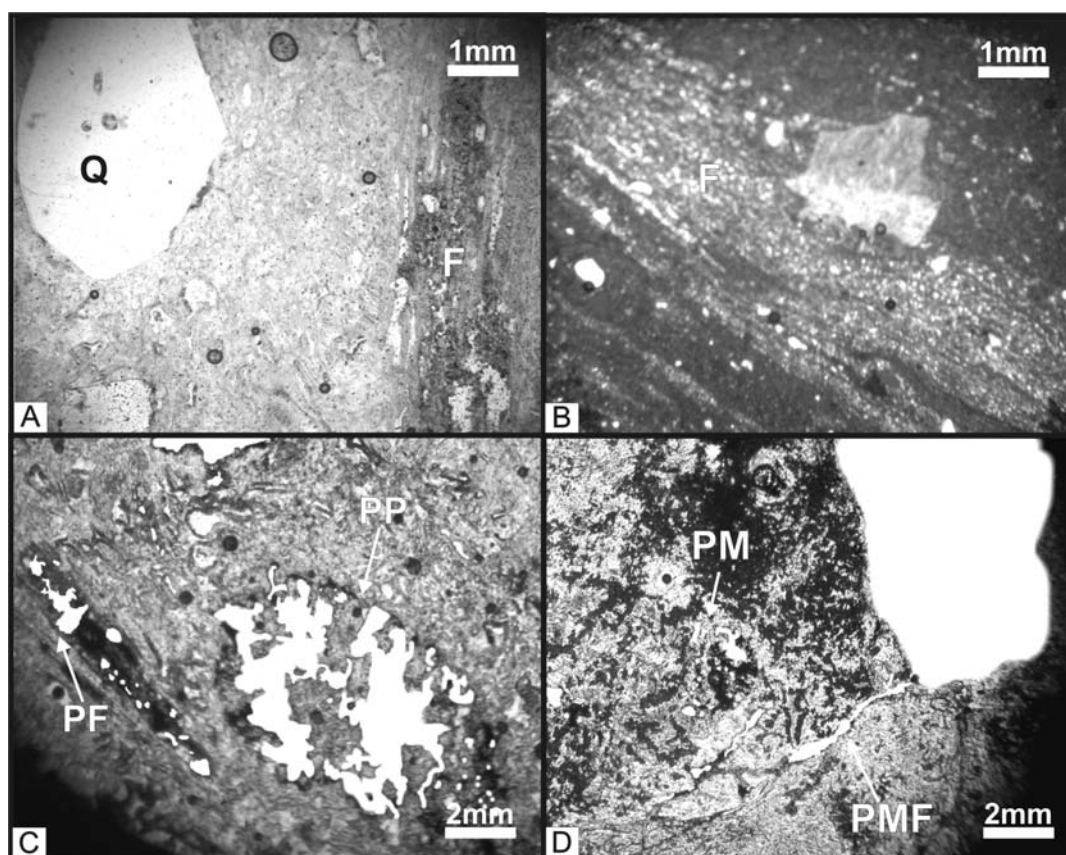


Figura 4: Fotomicrografías de la Ignimbrita Tin Tin 4 X 10. (A) Luz polarizada, Q = Cuarzo, F = *Fiamme* parcialmente recrystalizado. (B) Nícoles cruzados, *Fiamme* recrystalizado. (C y D) Cortes impregnados con resina (Blanco), PF = Porosidad generada por la alteración de *fiammes* y pómez, PP = Porosidad generada por canalículos de escape de gases, PM = Porosidad inherente al espacio matricial y PMF = Porosidad originada por microfracturas y fracturas hidráulicas.

El sector medio se caracteriza por la presencia de *fiammes* y grados variables de soldamiento en la matriz. En los sectores de bajo grado se observan sombras de trizas desvitrificadas a agregados de cuarzo y en los sectores de mayor grado de soldamiento, la desvitrificación a una textura felsítica con participación de agregados de clorita, sericita, argilominerales y óxidos. Los *fiammes* se presentan con formas ovoidales, parcialmente desvitrificados a una textura felsítica microcristalina. Los cristaloclastos ocupan entre el 20 y 30 % y al igual que en el nivel basal presentan indicios de corrosión magmática. Son fenocristales de cuarzo euédricos, y fenocristales de feldespato potásico, plagioclasa y biotita, subédricos parcialmente alterados. Con respecto a las microestructuras, se observaron fracturas hidráulicas, de enfriamiento y canalículos de escape de gases (*pipes*), parcialmente rellenos de sílice. El sector superior se distingue por poseer pómez y *fiammes* porosos con niveles variables de alteración. La matriz se encuentra parcialmente desvitrificada a una textura felsítica y en los sectores no alterados se observan trizas vítreas frescas y no deformadas. Los

cristaloclastos son escasos (5 - 10 %), mostrando características similares a los del sector medio e inferior. Son frecuentes los canalículos de escape de gases. Es de destacar que en este sector no se observan indicios de microfracturación hidráulica, tal como es común en los niveles inferiores.

Sobre la base de su grado variable de soldamiento en el sentido vertical, la presencia de vitroclastos fragmentados (trizas) sin indicios de flujo (ausencia de reomorfismo), los fragmentos de pómez, los *fiammes* achatados y/o ovoidales que conforman una textura eutaxítica *sensu stricto*, se sugiere que la Ignimbrita Tin Tin se habría formado por debajo de la temperatura de transición del vidrio (Llambías 2001 y referencias allí citadas). La falta de discontinuidades físicas mayores, la homogeneidad litofacial permiten sugerir, que la misma, se habría originado por una unidad de flujo piroclástico que luego de su deposición, evolucionó como una única unidad enfriamiento.

Con el objeto de identificar asociaciones de minerales de alteración, se realizaron análisis de difracción de Rayos X, método polvo-roca total, en roca y en el relleno de brecha hidráulica. En ambos casos se identificaron minerales de alteración como la Natrolita y la Clinoptilolita. También se confeccionaron cortes impregnados con resina, con el objetivo de obtener datos cuali/cuantitativos sobre las características petrofísicas. Los mismos, revelaron una porosidad total de entre 8 y 10 %, reconociéndose 4 tipos de porosidad (Fig.4): a) Inherente al espacio matricial; b) Generada por los canalículos de escape de gases (*pipes*); c) Causada por la alteración/disolución de *fiammes* y vitroclastos pumíceos; d) Ocasionada por microfracturas y fracturas hidráulicas. Esta última, solo encontrada en el nivel basal e intermedio.

ESTRUTURA

La Ignimbrita Tin Tin se encuentra en la parte del núcleo del anticlinal de la Sierra de Chacaico, formando una antiforma amplia de orientación NE-SO que abarca todo el afloramiento. La zona de estudio abarca parte del flanco oriental del anticlinal. En esta localidad el flanco se hace muy tendido y, a menor escala, se observa un plegamiento suave con ejes de orientación predominantemente N-S y NE-SO, con inmersión hacia el SW. También se observan, acompañando a estas estructuras, zonas de cizalla frágil con orientaciones ENE-OSO/NE-SO y NO-SE (Fig.3).

La observación estructural mesoscópica de la Ignimbrita Tin Tin, revela la existencia de zonas de cizallamiento frágil caracterizada por grietas y venas no sistemáticas, con diseños en Y, X y C (Hancock 1985), otorgando densidades de fracturación que rondan entre 60/m² y 110/m² (localidades a, b, e y f; Fig. 3). En algunos casos la interdigitación de estas venas y grietas con fracturas maestras, causan un aspecto brechoso. También se observaron dos familias de fracturas sistemáticas, una de orientación N-S y otra de orientación NE-SO (Fig. 5), que se concentran en la zona de charnela de los pliegues.

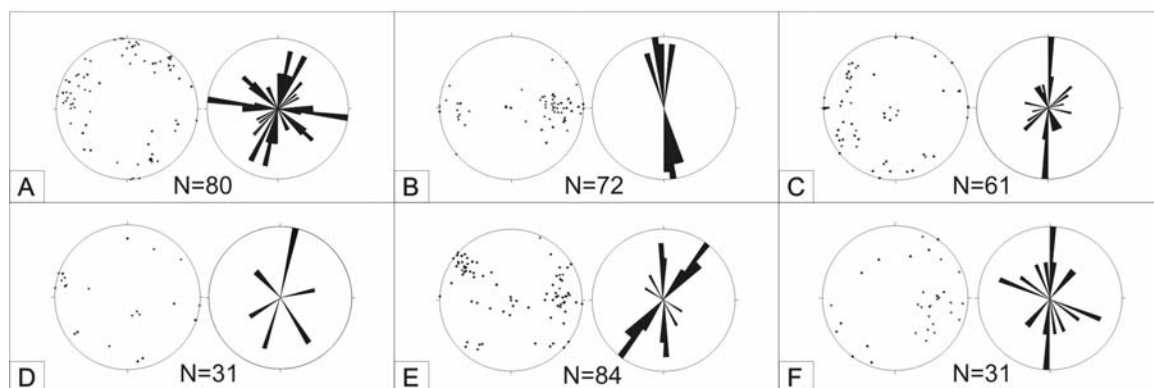


Figura 5: Diagramas polares y de rosas correspondientes a los sectores señalados en la figura 3. Se muestra la orientación de las fracturas sistemáticas.

Estas estructuras muestran longitudes que oscilan entre 2 y 4 metros, geometrías planares o curvilineales y un espaciado que ronda entre los 0,05 y 1,5 metros. Ambas familias se pueden clasificar como fracturas tensionales (con aperturas de 1 a 5 cm), híbridas y de cizalla de tipo extensional (Hancock, 1985). Estas últimas constituyen fracturas con estriados verticales y espacio abierto (híbridas) o cerrado (cizalla). En ambos casos, las fracturas aparecen silicificadas.

INTERPRETACIÓN y DISCUSIÓN

Algunos autores han puesto en equivalencia a las facies ignimbríticas de la Formación Lapa, con otras unidades de litología semejante que actúan como roca reservorio en el subsuelo de la cuenca y han mencionado a la alteración hidrotermal como propiedad intrínseca de estos depósitos (Pángaro *et al.* 2002). Anteriormente, Lambert (1946) se refirió a esta unidad como tobas porfíricas que han sido opalizadas por acciones hidrotermales. Los análisis de rayos X realizados en este trabajo revelaron la existencia de clinoptilolita, zeolita que podría tener tanto un origen diagenético como ser resultado de la alteración del vidrio, producto de soluciones de baja temperatura (Woldegabriel *et al.* 1996). En este último sentido, las microfracturas y el brechamiento hidráulico en la base, la escasa silicificación, la presencia de clinoptilolita, óxidos y minerales argílicos, sugieren una alteración causada por soluciones volcánicas de Ph alcalino a neutro, temperaturas menores a los 100°C y limitado aporte de aguas meteóricas (Henneberger y Browne 1988) que solo afecta a la unidad en cuestión. Entre las variables que controlaron este proceso cabría citar su espesor, el cual actúa disminuyendo la disipación térmica (Petrinovic 1999) y la baja concentración de líticos que por lo general disipan la temperatura por contraste térmico (Wilson 1993). Ambas variables se combinarían para mantener la temperatura del depósito el suficiente tiempo para que ocurran las reacciones. A su vez estas variables están regidas por las características del magma (temperatura, composición y el % volátiles), tipo y tasa de erupción volcánica (vinculada al campo de esfuerzos regionales y al tipo de magmatismo) y el paleorelieve (vinculado al edificio volcánico y al tipo de subsidencia de la cuenca).

Es importante destacar la ausencia de evidencias de una actividad hidrotermal en las rocas que infra/suprayacen a la Ignimbrita Tin Tin. De todos modos, no se descarta que este tipo de depósito se encuentre afectado por un sistema de circulación de fluidos hidrotermales en otro sitio de la cuenca. Permite sugerir esta idea la existencia de biohermos estromatolíticos hallados en sedimentitas del Toarciano-Bajociano medio, en áreas cercanas a la zona de estudio. (Gómez-Peréz 2001).

La fracturación tectónica ha sido mencionada como control importante en el desarrollo de los reservorios ignimbríticos del subsuelo (Pángaro *et al.* 2002). La Ignimbrita Tin Tin se encuentra deformada, observándose un aumento de la densidad de fracturación asociada a fallas menores, en donde grietas y venas no sistemáticas alcanzan valores de hasta 110/m². En algunos casos la interdigitación de estas venas y grietas con fracturas maestras, generan brechamiento. Por otro lado, las familias de fracturas sistemáticas se hallan asociadas a charnelas de pliegues suaves que afectan a la Formación Lapa. Las fracturas se observan sólo en las ignimbritas, no propagándose en las unidades que la contienen. Esta situación podría producirse por dos mecanismos diferentes: A) La unidad de estudio se comporta de una manera isótropa, plegándose por el mecanismo de deformación tangencial longitudinal, concentrando la deformación en la charnela y generando las dos familias de fracturas, descriptas con anterioridad. B) Los depósitos aluviales y reelaborados que infra/suprayacen a la Ignimbrita Tin Tin se plegaron por el mecanismo de flexión y deslizamiento, disipando los esfuerzos por cizalla y sin generar tales estructuras. Las evidencias de este último proceso son escasas, ya que no se trata de una sucesión bien estratificada, por lo cual el primer mecanismo señalado parece ser el más importante y el que controló la mecánica del plegamiento.

CONCLUSIONES

1. La unidad de estudio (Ignimbrita Tin Tin) constituye una unidad de flujo piroclástico que evolucionó como una unidad de enfriamiento, luego de su deposición. Es una ignimbrita vítrica, de composición feno-riolítica, generada por debajo de la temperatura de transición del vidrio.
2. La unidad está afectada por una alteración producto de soluciones volcánicas, de ph alcalino y temperaturas < a 100° C, con un limitado aporte de aguas proveniente del entorno, no interviniendo un sistema de circulación de fluidos hidrotermales que vinculen a las unidades que la infra/suprayacen.
3. Se determinó la existencia de cuatro tipos de porosidad: a) Inherente al espacio matricial; b) Generada por los canalículos de escape de gases (*pipes*); c) Causada por la alteración/disolución de *fiammes* y vitroclastos pumíceos; d) Ocasionada por microfracturas y fracturas hidráulicas. Los valores de porosidad son semejantes en toda la columna y están en el orden del 8 – 10%. Si bien este tipo de depósitos posee en general mayor porosidad en el techo que en el sector basal y medio, los valores similares de porosidad obtenidos para los 3 niveles son adjudicados a que los dos niveles inferiores presentan una porosidad generada por microfracturas hidráulicas que el nivel superior no posee.

4. Los parámetros petrofísicos que se mencionan en el párrafo anterior, dependen de procesos inherentes al volcanismo, tanto pre/sin-emplazamiento (características del volcanismo) como post-emplazamiento (enfriamiento, desgasificación y alteración generadas por soluciones volcánicas).
5. Frente a la deformación la unidad en cuestión es competente y se comporta de una manera isótropa. Es por ello, que controla la geometría del plegamiento y desarrolla estructuras frágiles (fracturas y grietas), asociadas a zonas de reactivación de pequeños grupos de fallas (cizalla frágil) y zonas de charnela de pliegues de pequeña escala. Estas estructuras sólo son propias de la Ignimbrita Tin Tin y podrían jugar un rol importante incrementando la porosidad secundaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Lic. Nicolas Sandoval, quien se ha desempeñado como ayudante de campo y a los doctores Ivan Petrinovic y Eduardo LLambías por las valiosas sugerencias y comentarios que permitieron mejorar el contenido del presente trabajo.

Este trabajo fue realizado gracias a los fondos provenientes del proyecto PICT 07-8451 ANPCyT “Controles geológicos sobre las secuencias mesozoicas de la Cuenca Neuquina”, dirigido por el Dr. Luis Spalletti.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Franzese, J. R. and Spalletti, L. A., 2001. Late Triassic-early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 257-270.
- Gomez-Pérez, I., 2001. Estromatolitos de aguas profundas en la Formación Los Molles (Neuquén, Argentina): ¿Chimeneas de metano en el fondo marino jurásico?. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 8 (2): 1-14.
- Gulisano, C. A., 1981. El Ciclo Cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. *Actas VIII Congreso Geológico Argentino III*: 579-592.
- Gulisano, C. A., Gutiérrez Pleimling, A. R. y Digregorio, R. E., 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. *Actas IX Congreso Geológico Argentino I*: 236-259.
- Hancock, P. L., 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology* 7 (3-4): 437-457.
- Henneberger, R. C. and Browne, P. R. L., 1988. Hidrotermal alteration and evolution of the Ohakuri hidrotermal system, Taupo volcanic zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 34: 211-231.
- Lambert, L. R., 1946. Contribución al conocimiento de la Sierra de Chacay-Có (Neuquén). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1 (4): 231-256.
- Leanza, H. A., 1990. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los movimientos intermalmicos en la comarca del Cerro Chachil, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45 (3-4): 272 - 299.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. A., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior - Terciario inferior, Argentina). En: Chebli, G. & L. Spalletti (Eds.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica* 6: 221-243. Universidad Nacional de Tucumán.
- Legarreta, L. y Uliana, M. A., 1996. The Jurassic succession in west-central Argentina: stratal pattern, sequences and paleogeographic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology* 120: 303-330.
- LLambías, E. J., 2001. Geología de los cuerpos ígneos. Instituto Superior de Correlación Geológica INSUGEO. Serie de Correlación Geológica, 15. CONICET y Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (Universidad Nacional de Tucumán). San Miguel de Tucumán 232 pp.
- Pángaro, F., Corbera, R., Carbone, O. y Hinterwimmer, G., 2002. Los reservorios del Precuyano. En: Schiuma, M., Hinterwimmer, G. y Vergani, G. (eds) *Rocas Reservorios. V Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos, Mar del Plata 2002*, Actas: 229-254.
- Petrinovic, I. A., 1999. La caldera de colapso del Cerro Aguas Calientes, Salta, Argentina: evolución y esquema estructural. *Acta Geológica Hispánica* 34 (2-3): 243-253.

- Spalletti, L. A., Arrondo, O. G., Morel, E. M. y Ganuza, D. G., 1991. Evidencias sobre la edad Triásica de la Formación Lapa en la región de Chacaico, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46 (3-4): 167-172.
- Uliana, M. A., Biddle, K. T. y Cerdan, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine Sedimentary Basins. In: Tankard, A.J. and Balkwill, H.R. (Eds.). *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46: 599-598. Tulsa, Oklahoma.
- Vergani, G. D., Tankard, A. J., Belotti, H. J. y Welsink, H. J., 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In: Tankard, A. J., Suárez S. R. and Welsink, H. J. (Eds.). *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62:383-402.
- Wilson, C. J. N., 1993. Ignimbritas y calderas: perspectivas históricas, ideas actuales y desarrollos futuros. En: Martí J. y Araña V. (eds). *La volcanología actual*. Consejo de investigaciones científicas. Madrid, 1993. 578 pp. 197-275.
- Woldegabriel, G., Broxton, D. E. and Byers Jr, F. M., 1996. Mineralogy minerals in and temporal relations of coexisting authigenic altered silicic tuffs and their utility as potential low-temperature dateable minerals. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 71:155-165.