

Pseudotaquilitas en la megacizalla de Azul, Tandilia

María Cristina Frisicale^{1,2}, Luis V. Dimieri^{1,2} y Jorge A. Dristas^{1,3}

RESUMEN. Se describen venas de pseudotaquilitas presentes en la localidad de Cerro Negro que cortan las rocas miloníticas del basamento proterozoico de Tandilia, pertenecientes a la Megacizalla de Azul (MCA). Las pseudotaquilitas forman venas principales y una red de ramificaciones menores de diferentes tamaños con bordes netos y rectos con la roca de caja. Las venas principales pueden ser concordantes o levemente discordantes con la foliación milonítica principal. Se presentan como una roca oscura, de grano extremadamente fino; en las venas de mayor tamaño se observan fragmentos relícticos de la roca de caja. Según la proporción de fragmentos presentes, se distinguen dos tipos principales de venillas: las que poseen entre 70 y 80% de fragmentos y escasa matriz, y las que poseen 80% de matriz y escasos fragmentos. Los fragmentos relícticos están pobremente seleccionados; los mayores corresponden a granos de cuarzo, feldespato y en menor proporción hornblenda, mientras que los fragmentos más pequeños son de cuarzo, feldespato y finas agujas de minerales opacos. La matriz de las pseudotaquilitas en algunos casos es microcristalina, en otros vítrea o una combinación de ambas. El desarrollo de las pseudotaquilitas es posterior a la formación de las milonitas.

Palabras claves: *Tandilia, Pseudotaquilitas, Megacizalla.*

ABSTRACT. *Pseudotachylyte veins cut Proterozoic mylonitic rocks in the Azul megashear zone, Tandilia.* Pseudotachylytes form major veins and a network of minor veins of different size with sharp and straight boundaries with the wallrock. Major veins are concordant or form gentle angles with the mylonitic foliation. Pseudotachylyte is a fine-grained dark rock, and in the more large veins we can observe wallrock fragments. According with the fragments proportion there are two types of veins: ones with 70-80% of fragments and little matrix and veins with 80% of matrix and scarce fragments. The larger fragments are composed of quartz, feldspar and minor hornblende grains; the smaller fragments are quartz, feldspar and fine opaque minerals. Pseudotachylyte matrix is microcrystalline, glassy or a combination of both. The pseudotachylyte development is latter than mylonitic foliation.

Key words: *Tandilia, Pseudotachylyte, Megashear.*

Introducción

Las pseudotaquilitas son rocas cohesivas, asociadas a zonas de falla, compuestas por una matriz oscura de grano muy fino o vítrea, con inclusiones relícticas de minerales y/o fragmentos de la roca de caja. Se encuentran en rocas metamórficas muy deformadas y asociadas frecuentemente con milonitas; pueden ser utilizadas para determinar el comportamiento de una zona de falla en el pasado (Spray 1995).

Si bien hasta hace pocos años existían ciertas discrepancias en cuanto al origen de las pseudotaquilitas, últimamente existe un consenso general en considerar que estas rocas se forman por acción de dos procesos: cataclasis y fusión friccional, que actúan en forma conjunta y con intensidad

variable dependiendo de las circunstancias, durante un movimiento sísmico a lo largo de una falla (Maddock 1992, Magloughlin 1992, Spray 1995, Wenk *et al.* 2000). Según Wenk *et al.* (2000), la fusión ocurriría como consecuencia del calor producido durante la cataclasis.

El objetivo de esta contribución es describir petrográficamente y clasificar las venas de pseudotaquilitas que se encuentran en la localidad de Cerro Negro, ubicado en el extremo occidental de la Megacizalla de Azul (MCA), en las Sierras de Azul, Tandilia. Esta es la primera mención que se realiza sobre la presencia de venas de pseudotaquilitas en toda la región de Tandilia.

Geología del área

En la zona de Cerro Negro se encuentra un afloramiento de dimensiones reducidas, aproximadamente 8 km², de rocas pertenecientes al basamento ígneo-metamórfico transamazónico de Tandilia, denominado Complejo Buenos Aires (Marchese y Di Paola 1975), las cuales sufrieron una intensa deformación dúctil de grado metamórfico medio a alto

¹ Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur, San Juan 670. 8000 Bahía Blanca.

E-mail: cfrisica@uns.edu.ar, ghdimier@uns.edu.ar, jdristas@criba.edu.ar.

² CONICET

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

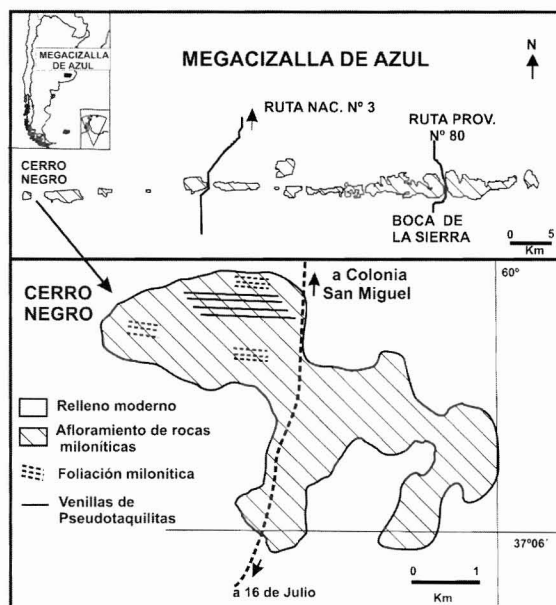


Figura 1: Mapa de ubicación del Cerro Negro mostrando los afloramientos de rocas miloníticas y la distribución de las venas de pseudotaquilitas.

(Frisicale *et al.* 2004). Estas rocas protomiloníticas y miloníticas fueron afectadas por un evento frágil posterior que determinó la formación de una zona intensamente fracturada, la cual se encuentra cortada por abundantes venas de pseudotaquilitas (Fig. 1).

Las rocas aflorantes en el Cerro Negro fueron descritas por González Bonorino *et al.* (1956) como milonitas gnéissicas con diferente grado de deformación, compuestas por porfiroblastos de feldespato, hornblenda y láminas de biotita; Frisicale *et al.* (2004) reconocen en esta área gneises miloníticos y *striped gneiss* intensamente foliados, formados en condiciones metamórficas de grado medio a alto (facies de anfíbolita a granulita).

El desarrollo de las pseudotaquilitas que afectan a estas rocas es posterior a la milonitización, ya que las venas de pseudotaquilitas no muestran evidencias de deformación dúctil y además cortan a la foliación milonítica.

Petrografía

Rocas de caja

Tanto los gneises miloníticos como los *striped gneiss* son portadores de venas de pseudotaquilitas. Ambos tipos de rocas presentan una foliación milonítica de rumbo general este-oeste, con buzamiento subvertical a vertical, y se encuentran fracturadas en cercanías de las venas.

El gneiss milonítico está formado por grandes porfiroclastos de feldespato potásico (aproximadamente 50% de la roca), otros menores de hornblenda y biotita (30%) y cintas policristalinas de cuarzo (20%) (Frisicale *et al.* 2004). Los porfiroclastos de hornblenda y feldespatos conservan un sector relíctico escasamente deformado dentro de la roca de caja, y en el contacto de éstos con la venilla de pseudotaqui-

lita se desarrolla un borde muy delgado, menor de 0,5 m, donde los cristales de hornblenda y feldespato potásico están triturados y las láminas de biotita están tanto trituradas como flexuradas.

El *striped gneiss* es una roca félsica formada por granos equigranulares de feldespato potásico intercalados con cintas policristalinas de cuarzo, y escasa presencia de biotita y hornblenda (Frisicale *et al.* 2004).

Pseudotaquilitas

Las venas de pseudotaquilitas que afectan a ambas rocas, tienen espesores variables, desde escasos milímetros hasta unos 15 cm aproximadamente, siendo más abundantes las más finas, las que se pueden seguir por varios metros (Fig. 2a y b). Las venas principales o superficies de generación (Passchier y Trouw 1996) son concordantes o levemente discordantes con la foliación milonítica formando ángulos de hasta 15° a 20°; las ramificaciones menores, generalmente anastomosadas, forman ángulos de hasta 90° con la foliación milonítica.

Tanto las venas principales como las ramificaciones menores tienen bordes rectos y contactos netos con la roca de caja (Fig. 2a, b), y no presentan pasajes transicionales, a diferencia de las rocas cataclásticas, las cuales muestran una zona donde la deformación disminuye progresivamente hacia la roca de caja. En muchos casos, estas venas de pseudotaquilitas están fracturadas y desplazadas, como consecuencia de un evento de fracturación posterior al desarrollo de éstas.

Macroscópicamente las pseudotaquilitas son rocas oscuras, generalmente negras, de grano extremadamente fino, y en los casos donde las venas tienen un mayor espesor es posible observar la presencia de relictos de la roca de caja en el interior de la vena.

Presentan textura porfiroclástica formada por clastos relícticos de cuarzo, feldespatos y escasa proporción de hornblenda incluidos en una matriz de grano muy fino o vítreo. Los clastos están pobremente seleccionados, tienen un tamaño variable entre 0,5 mm y 5 m, y presentan bordes redondeados y algunos angulosos. La escasez de minerales ferromagnesianos como hornblenda y biotita es un rasgo propio de las pseudotaquilitas.

Tipos de venas de pseudotaquilitas

Teniendo en cuenta la relación entre la proporción de matriz y el porcentaje de granos relícticos presentes en las venillas, se distinguen dos tipos principales: a) venillas con una proporción de clastos que oscila entre el 70 y 80% y escasa matriz y b) venillas que poseen una proporción de matriz cercana al 80% con escasos clastos relícticos.

En el primer caso, los relictos en general son angulosos y de tamaños variables, comprenden clastos mayores de cuarzo, feldespato, y más pequeños de hornblenda y biotita (Fig. 2c), rodeados por una matriz microcristalina. La diferencia en el tamaño de los relictos estaría relacionada con el tamaño de estos minerales en la roca original, y además probablemente dependería de la resistencia propia de estos minerales

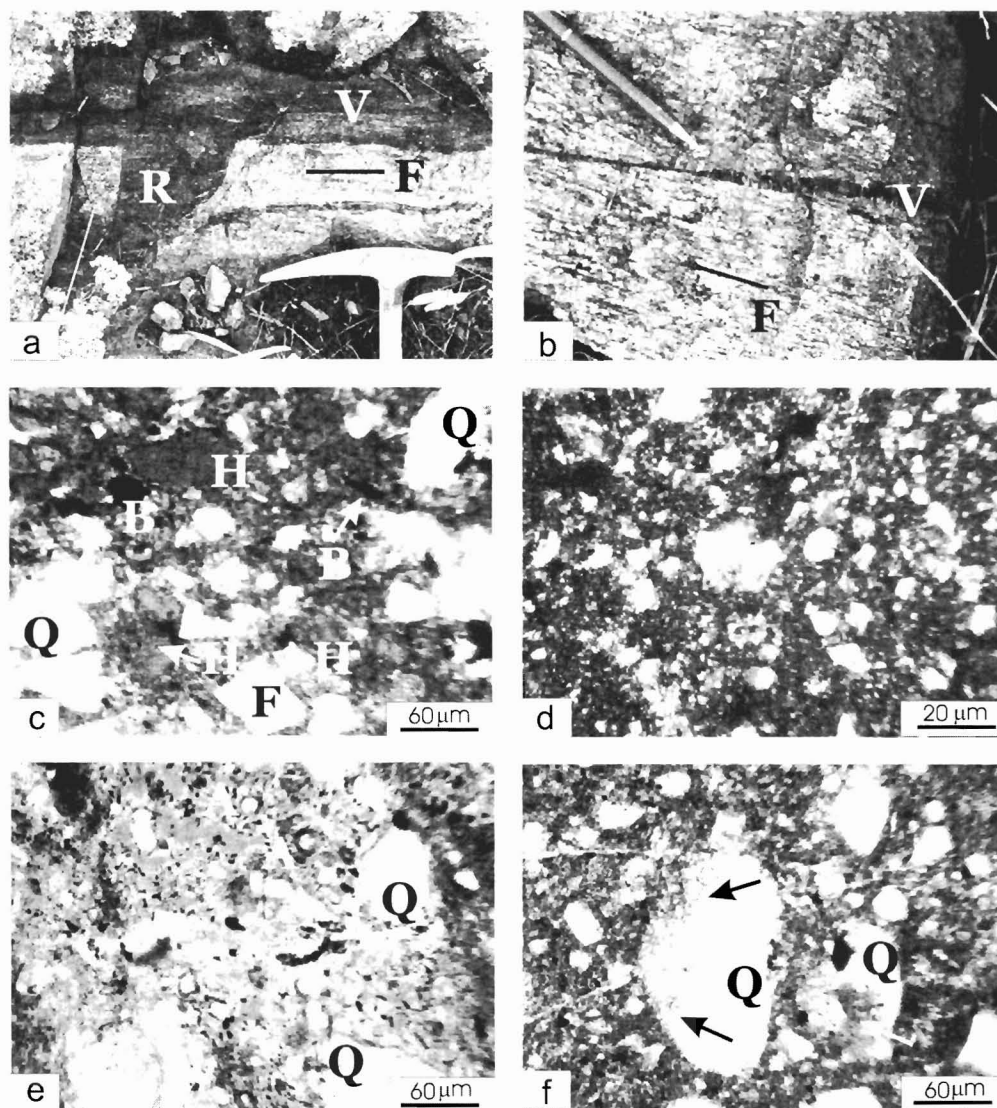


Figura 2: a) Superficie de generación o vena (V) y ramificación (R) de una pseudotaquilita; la vena principal es paralela a la foliación milonítica (F) y la ramificación es normal a ésta. b) Venilla de pseudotaquilita oblicua a la foliación milonítica; en ambas fotomicrografías (a y b) observar los contactos netos de la venilla con la roca de caja. c) Venilla con abundantes clastos y escasa matriz, observar la angulosidad de los clastos y la presencia de biotita (B) y hornblenda (H). d) Matriz microcristalina, se observan relictos de cuarzo y escasos feldespatos. e) Matriz vítrea, con escasos relictos de cuarzo (Q) y algunas vesículas y amígdalas (A); observar los bordes corroídos por el fundido. f) Clasto relicto de cuarzo (Q) con los bordes corroídos magmáticamente (flecha), en venilla de pseudotaquilita con matriz microcristalina. c, e, f fotomicrografías tomadas con luz paralela; d fotomicrografía con nicoles cruzados.

a la rotura. La biotita y la hornblenda presentarían menor resistencia a la fracturación que el cuarzo y los feldespatos, originando relictos de menor tamaño (Spray 1992).

En las venillas del segundo tipo, los clastos relicto son generalmente de cuarzo y feldespato, y la matriz puede ser tanto de tipo microcristalina como vítrea aún dentro de una misma venilla (Fig. 2d y 2e). En general, las venas de mayor espesor están compuestas por una combinación de ambos tipos de matriz, vítrea y microcristalina; encontrándose el tipo vítrea en los bordes de las venas y la matriz microcristalina en el sector central, tal como fue propuesto por Lin (1994).

En estas venillas, los escasos porfiroclastos de cuarzo y feldespato tienen sus bordes redondeados y están corroídos por el fundido (Fig. 2f), indicando una fusión parcial de los mismos, mientras que los fragmentos líticos exhiben fusión

a lo largo de fracturas internas y en los límites entre granos de diferente composición (Fig. 3a). Estas características texturales de los porfiroclastos indicarían un equilibrio incompleto durante la fusión (Maddock 1983, 1992, McNulty 1995, Spray 1995, Fabbri *et al.* 2000, Lin *et al.* 2003, Allen 2005). La ausencia de clastos relicto de hornblenda y biotita indicaría una fusión total de estos minerales ferromagnesianos; a partir de este fundido, se habrían originado granos de minerales opacos, probablemente magnetita (Maddock 1983, 1986, 1992, Spray 1992, Fabbri *et al.* 2000, Swanson 1992).

Existen, además, otras evidencias de fusión como la presencia de una matriz microcristalina, vidrio, líneas de flujo o fluidalidad y escasas vesículas y amígdalas.

En algunas venas se ha determinado la presencia de clastos relicto de pseudotaquilita (Fig. 3b), lo que podría indi-

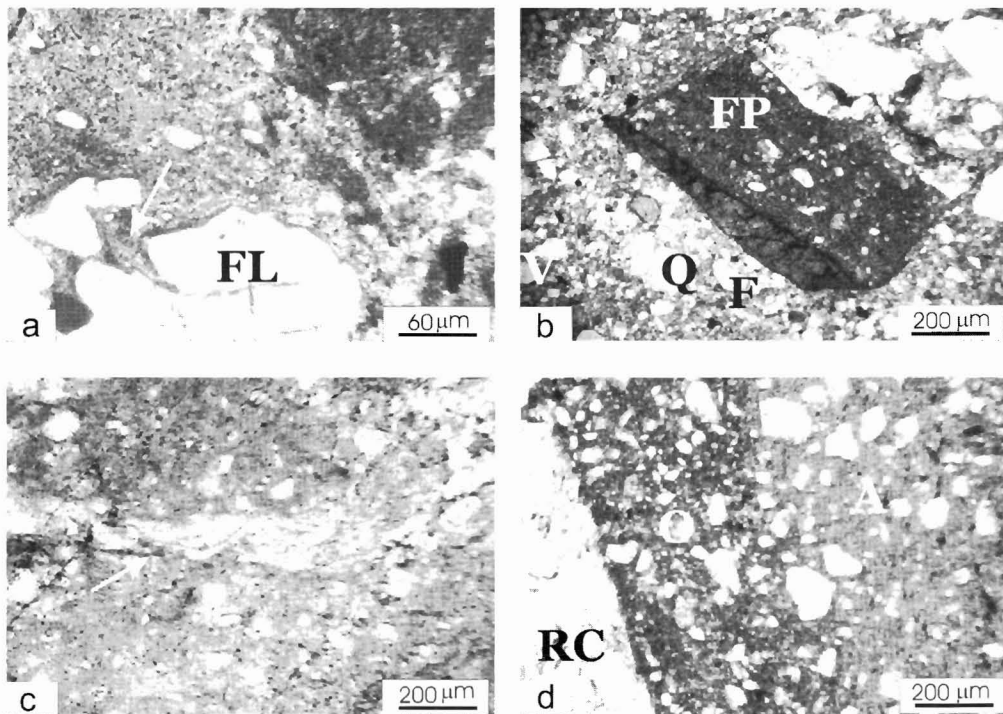


Figura 3: Fotomicrografías tomadas con niculos paralelos. a) Fragmento lítico de roca de caja (FL), corroído por la matriz vítrea aprovechando contactos entre granos de diferente composición (flecha), observar los bordes redondeados del grano y la mayor concentración de mineral opaco en el extremo superior izquierdo. b) fragmento de pseudotaquilita (FP) incluido en una venilla de pseudotaquilita, observar que la coloración de la matriz del fragmento es más oscura que la matriz del resto de la venilla (V); se observan relictos de cuarzo (Q), feldespato (F) y hornblenda (H). c) Matriz vítrea con evidencias de fluidalidad (flecha), paralela a los límites de la venilla. d) Venilla de pseudotaquilita en contacto con la roca de caja (RC); se observa la diferente coloración de la matriz, en la parte central (A) una coloración más clara con menor proporción de minerales opacos y en los bordes de la venilla (O) aumenta considerablemente la proporción de minerales opacos.

car que estas venas han sufrido una reactivación o una reapertura de la misma vena con una nueva generación posterior de pseudotaquilita, en distintos momentos de su historia geológica.

Matriz microcristalina y vítrea

La matriz microcristalina está compuesta por un intercrecimiento equigranular de minerales félsicos, probablemente de cuarzo y feldespato, distinguibles en el microscopio petrográfico por su birrefringencia, aunque son demasiado finos como para ser identificados en forma precisa (Fig. 2d); esta textura es muy similar a la textura felsítica de una roca volcánica y podría ser interpretada como cristalización directa a partir de un fundido. Generalmente es incolora a parda amarillenta y a veces está oscurecida por la presencia de minerales opacos, probablemente magnetita.

La matriz vítrea es de grano muy fino y no se distinguen cristales o microlitos, es casi isotropa o levemente anisotropa, de color pardo amarillento claro u oscuro, dependiendo de la composición de la roca de caja (Fig. 2e). El vidrio rara vez puede ser identificado por su característica más determinativa que es la isotropía, ya que en la mayor parte de las venillas de pseudotaquilita de esta localidad el vidrio está desvitrificado, es decir que se produce una cristalización secundaria del vidrio en un agregado mineral de grano muy fino, que le otorga cierta anisotropía. En algunos sectores, la matriz es de color pardo y está formada por pequeñas láminas orientadas no identificables (menores de 3 μm) que pre-

sentan leve pleocroísmo y extinción recta, probablemente correspondientes a algún mineral secundario formado como producto de la desvitrificación o alteración del vidrio.

La presencia de vidrio en estas venillas está ratificada por la existencia de fluidalidad o líneas de flujo con una disposición generalmente paralela a los bordes de las venillas, que se curvan alrededor de los fragmentos minerales, lo que indicaría un desplazamiento de estos fragmentos en un medio viscoso (Fig. 3c). En la matriz vítrea se reconocen escasas vesículas y amígdalas con formas circulares y elípticas, cuyo tamaño es de pocos micrones, rellenas por un material birrefringente que no es determinable en el microscopio petrográfico (Fig. 2e). El borde de estas vesículas está marcado por una fina capa de pequeños minerales opacos.

Los cambios en la coloración de la matriz observados dentro de una misma vena se deberían a diferencias en la composición química de la roca original o bien a rocas gnéisicas que presentan un marcado bandeo de minerales félsicos y máficos (Lin 1994). Esto es coherente con lo observado en la venillas de pseudotaquilitas del Cerro Negro, ya que en aquellos lugares donde la roca original es el *striped gneiss*, la matriz ya sea vítrea o microcristalina es casi incolora. Cuando la roca de caja es un gneis milonítico con abundantes mafitos (hornblenda y biotita), la matriz de las pseudotaquilitas presenta una coloración variada. En los sectores félsicos del gneis, la matriz es más clara e incluso casi incolora, en las bandas máficas se generan pseudotaquilitas más oscuras, y en algunos sectores se observan totalmente negras y opacas debido a la abundancia de minerales opacos (Fig. 3d).

Discusión

Las texturas observadas en las venas de pseudotaquilitas del Cerro Negro en las que predomina la matriz sobre los clastos relícticos, permiten identificar tres tipos de matriz: vítrea, microcristalina y una combinación entre ambas. Estos tipos de matriz coincidirían con los tipo I o vítrea, tipo III o microcristalina y tipo IV o mixta de la clasificación propuesta por Lin (1994). En las pseudotaquilitas de esta localidad, la matriz vítrea y la cristalina forman venas simples separadas, o bien se pueden encontrar juntas formando parte de una misma vena, donde la matriz vítrea ocupa las zonas marginales de las venas microcristalinas, lo que estaría indicando un enfriamiento rápido del fundido en los bordes de la venilla, tal como fuera señalado por Lin (1994).

Si bien todos los autores coinciden en que la cataclasis y la fusión friccional son procesos complementarios en la formación de las pseudotaquilitas, Spray (1995) indica que la existencia de una matriz puramente fragmental o mezcla de fragmentos y fundido depende de la velocidad de deformación en la interfase friccional; es decir, a baja velocidad de deformación predomina la cataclasis sobre la fusión y cuando la velocidad de deformación es alta predomina la fusión. Esto permitiría inferir que la formación de las pseudotaquilitas del Cerro Negro integradas casi exclusivamente por fragmentos estaría relacionada con una baja velocidad de deformación, lo que explicaría la escasez de matriz. En aquellas venillas donde existen evidencias de fusión, la velocidad de deformación habría sido mayor, lo cual habría favorecido la fusión parcial o total de la roca de caja. Es probable que ambos tipos de pseudotaquilitas se hayan formado en distintos momentos geológicos, en los cuales la velocidad de deformación alcanzó valores diferentes. Hasta el momento, no se ha podido establecer la relación geológica que existe entre ambos tipos de venas, si bien la presencia de clastos relícticos de pseudotaquilitas dentro de una nueva pseudotaquilita permiten sustentar esta presunción (Fig. 3b).

Las principales evidencias observadas en las pseudotaquilitas del Cerro Negro sobre la existencia de un fundido son: presencia de vidrio, texturas microcristalinas formadas a partir de un fundido, líneas de flujo o fluidalidad paralelas a los bordes de las venillas, clastos con bordes corroídos por el fundido, fusión parcial o total de los minerales máficos hidratados biotita y hornblenda, y vesículas. Según Maddock (1992) durante la formación del fundido el orden de fusión de las fases mineralógicas es el siguiente: biotita y anfíbol más rápidamente que feldespatos, y éstos más rápidamente que el cuarzo. Esto explicaría la casi ausencia de biotita y hornblenda en las pseudotaquilitas formadas a partir del gneis milonítico de esta localidad.

Si consideramos que estas pseudotaquilitas se habrían formado en una etapa final del evento de deformación que originó las milonitas asociadas, las cuales de acuerdo con diferentes autores corresponderían al Ciclo Transamazoniano tardío (Dalla Salda 1981, Dalla Salda *et al.* 1992, Cingolani *et al.* 2002), el vidrio de las pseudotaquilitas tendría una edad levemente menor. Teniendo en cuenta lo establecido por Logfren (1971), de que el límite geológico para la exis-

tencia de vidrios naturales es aproximadamente el Cretácico (135 Ma), es lógico considerar que todo el vidrio que forma la matriz de las pseudotaquilitas se encuentre desvitrificado y/o alterado.

Conclusiones

En los afloramientos del basamento metamórfico del Cerro Negro, se determinó una zona con abundantes venas y ramificaciones de pseudotaquilitas, las cuales se encuentran asociadas con las rocas miloníticas de la Megacizalla de Azul. No presentan deformación dúctil, lo que indicaría que las pseudotaquilitas se habrían formado con posterioridad al proceso de milonitización, aunque probablemente dentro del mismo Ciclo Transamazoniano, tal como lo demuestra la presencia de venas de generación que cortan con un bajo ángulo a las milonitas.

En la mayoría de las pseudotaquilitas de esta localidad habrían actuado como procesos formadores tanto la cataclasis como la fusión en forma conjunta y con intensidad variable durante un movimiento sísmico; si bien se describieron algunas venas en las que pareciera que el único proceso actuante fue la cataclasis, ya que no se observan evidencias de fusión.

La presencia de vesículas y amígdalas en algunas venillas con matriz vítrea podría indicar, en una primera aproximación, que la profundidad de formación de las pseudotaquilitas sería somera, al menos para las venillas en que fueron identificadas (Maddock *et al.* 1987, Lin 1994).

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos de los subsidios PIP 02736 del CONICET, PICT 10794/2002 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y 24/H045 de la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur. Los autores desean expresar su agradecimiento a Alina Guerreschi y a un corrector anónimo por sus apreciables observaciones y sugerencias que permitieron mejorar significativamente este trabajo.

Trabajos citados en el texto

- Allen, J.L., 2005. A multi-kilometer pseudotachylite system as an exhumed record of earthquake rupture geometry at hypocentral depths (Colorado, USA). *Tectonophysics* 402: 37-54.
- Cingolani, C.A., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S. y McNaughton, N.J., 2002. U-Pb shrimp dating zircons from the Buenos Aires complex of the Tandilia belt, Río de la Plata craton, Argentina. *Actas CD-ROM, 15° Congreso Geológico Argentino* (El Calafate, Santa Cruz), Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, 1: 149-154.
- Dalla Salda, L., 1981. Tandilia, un ejemplo de tectónica de transcurriencia en basamento. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 43 (2): 198-209.

- Dalla Salda, L., Franzese, J. y Posadas, V., 1992. The 1.800 Ma Milonite-anatectic granitoid association in Tandilia, Argentina. En: R. Mason (Ed.), *Basement Tectonics*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 7: 161-174.
- Fabbri, O., Lin, A. y Tokushige, H., 2000. Coeval formation of cataclasite and pseudotachylyte in a Miocene forearc granodiorite, southern Kyushu, Japan. *Journal of Structural Geology* 22: 1015-1025.
- Frisicale, M.C., Dimieri, L.V. y Dristas, J.A., 2004. Deformación dúctil en el Cerro Negro, Megacizalla de Azul, Tandilia. *Avances en Microtectónica y Geología Estructural*, Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial N° 7: 82-88.
- González Bonorino, F., Zardini, R., Figueroa, M. y Limousin, T., 1956. Estudio geológico de las Sierras de Olavarría y Azul (Prov. de Buenos Aires). *Lemit*, Serie 2, 63: 1-22.
- Lin, A., 1994. Glassy pseudotachylyte veins from Fuyun fault zone, northwest China. *Journal of Structural Geology* 16: 71-83.
- Lin, A., Sun, Z. y Yang, Z., 2003. Múltiple generations of pseudotachylyte in the brittle to ductile regimes, Qinling-Sabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic complex, central China. *The Island Arc* 12: 423-435.
- Logfren, G., 1971. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. *Geological Society of America Bulletin* 82: 11-124.
- Maddock, R.H., 1983. Melt origin of fault-generated pseudotachylytes demonstrated by textures. *Geology* 11: 105-108.
- Maddock, R.H., 1986. Partial melting of lithic porphyroclasts in fault-generated pseudotachylytes. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abh.* 155: 1-14.
- Maddock, R.H., 1992. Effects of lithology, cataclasis and melting on the composition of fault-generated pseudotachylytes in Lewisian gneiss, Scotland. *Tectonophysics* 204: 261-278.
- Maddock, R.H., Grocott, J. y Van Nes, M., 1987. Vesicles, amygdalites and similar structures in fault-generated pseudotachylytes. *Lithos* 20: 419-432.
- Magloughlin, J.F., 1992. Microstructural and chemical changes associated with cataclasis and frictional melting at shallow crustal levels: the cataclasite-pseudotachylyte connection. *Tectonophysics* 204: 243-260.
- Marchese, H.G. y Di Paola, E., 1975. Reinterpretación estratigráfica de la Perforación de Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30 (1): 44-52.
- McNulty, B.A., 1995. Pseudotachylyte generated in the semi-brittle and brittle regimes, Bench Canyon shear zone, central Sierra Nevada. *Journal of Structural Geology* 17: 1507-1521.
- Passchier, C.W. y Trouw, R.A., 1996. *Microtectonics*. Springer Verlag, 289 p., Berlin.
- Spray, J.G., 1992. A physical basis for the frictional melting of some rock-forming minerals. *Tectonophysics* 204: 205-221.
- Spray, J.G., 1995. Pseudotachylyte controversy: Fact or friction? *Geology* 23(12): 1119-1122.
- Swanson, M.T., 1992. Fault structure, wear mechanisms and rupture processes in pseudotachylyte generation. *Tectonophysics* 204: 223-242.
- Wenk, H-R, Johnson, L.R. y Ratschbacher, L., 2000. Pseudotachylytes in the Eastern Peninsular Ranges of California. *Tectonophysics* 321: 253-277.