



## INTERPRETACION GENÉTICA DE TEXTURAS EN BASALTOS DE LA FORMACIÓN ALTO PARAGUAY

Leda Sánchez Bettucci<sup>1</sup>, Magdalena Koukharsky<sup>2</sup>, Avto Gogichaishvili<sup>3</sup> & Ricardo Tindrade<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Departamento de Geología, Area Geofísica-Geotectónica, Iguá 4225, Malvin Norte, CP 11400, Montevideo, Uruguay

<sup>2</sup>CONICET — Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria, Pabellón II, piso 1, CP 1428, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup>Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), Instituto de Geofísica, UNAM-Campus Morelia, México.

<sup>4</sup>Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomía, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, 1226, 05508-090, São Paulo, Brazil.

### Resumen

Se describen e interpretan texturas particulares observadas en contactos entre las lavas basálticas de la Provincia Paraná-Etendeka (133 Ma), aflorantes en el este de Paraguay y sedimentos Pérmicos de la Formación Iratí (Cuenca del Paraná). Se trata de un tipo de pseudoeperitas presentes en bloques y fragmentos sedimentarios embebidos en hidrocarburos contenidos en los basaltos, que analizados petrográficamente podrían considerarse pseudoamígdalas. La presencia simultánea de ambos rasgos texturales es muy poco común y su origen estaría en la presencia de hidrocarburos.

### Abstract

Here we report the occurrence of pseudoeperites on aphyric basalts of Alto Paraguay Formation near Santa Rita locality (eastern Paraguay). These textures are indicative of interaction between hot with wet sediments. In this case, the sediments are black, "oil-wet" bituminous pelites correlated to the Permian Iratí Formation in Brazil. The lava-sediment interaction lead to the formation of large "bubbles" due to the separation of a major gas phase which would have been almost completely trapped within the volcanic host. These observations provide key information on the sedimentary processes occurring simultaneously to magma intrusion and/or lava effusion in a LIP.

**Keywords:** Pseudoeperitas, Pseudoamígdalas, Provincia Ígnea Paraná-Etendeka, Formación Iratí.

### Introducción

La observación detallada de texturas presentes en rocas volcánicas y sedimentarias cercanas a sus contactos y su interpretación en el contexto geológico-estratigráfico, han permitido identificar importantes características de los sedimentos que existieron al tiempo de la erupción volcánica y que han sido modificadas por los procesos diagenéticos posteriores.

En este caso se trata del contacto entre basaltos y rocas sedimentarias embebidas en hidrocarburos, que dio lugar a la presencia de diversos fragmentos oscuros dentro de la volcanita y también dentro de la roca sedimentaria. Por sus características macroscópicas observadas en el campo el conjunto sugería que se trataba de la formación de peperitas. Las peperitas, en un sentido genético, se producen cuando hay interacción dinámica con sedimentos húmedos, por lo general los sedimentos subacuáticos (Kokelaar, 1982; Bates and Jackson, 1987; Busby and White, 1987; White et al., 2000). White et al. (2000) definieron el término genético

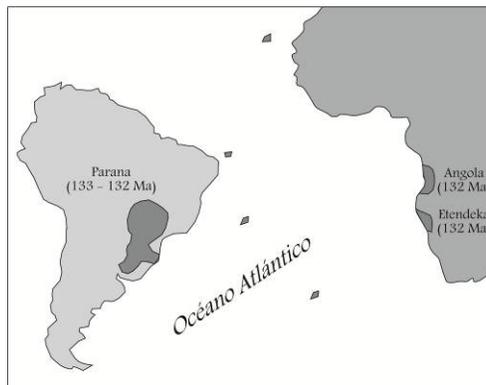


“peperita” aplicado fundamentalmente a rocas formadas básicamente in situ, que implica la intrusión y mezcla del magma con sedimentos no-consolidados o pobremente consolidados, comúnmente sedimentos húmedos. Por otra parte, han sido descriptos ejemplos que muestran que en ambientes áridos se pueden formar peperitas y su génesis es diferente y no necesariamente involucran la presencia de agua (Jerram et al., 2000; Scherer et al. 2002; Jerram and Stollhofen 2002, entre otros). Como ejemplo se puede mencionar el trabajo de Jerram and Stollhofen (2002) quienes presentaron un estudio detallado de la interacción los flujos de Etendeka (Namibia) y sedimentos eólicos en la que reconocieron texturas peperíticas. De acuerdo con Jerram and Stollhofen (2002) la génesis de las peperitas no está resuelta. Se sugiere que el término peperita se emplee para describir los casos en donde está claro que ha habido una interacción dinámica entre sedimentos (húmedos o no consolidados) y magma. Utilizaremos aquí el término “pseudopeperita” para describir una textura desarrollada in situ, de interacción de magma y sedimentos embebidos, en este caso en hidrocarburos, o pobremente y que no implica necesariamente la presencia de agua.

El objeto del siguiente trabajo es describir e interpretar la génesis de las estructuras resultantes de la interacción lava/sedimentos vinculado a un paquete de roca de sedimentos de la Formación Irati (cuenca de Paraná) dentro de rocas basálticas de la Provincia Paraná-Etendeka, en Paraguay.

## Geología

La cuenca intracratónica del Paraná es una cuenca importante y está desarrollada exclusivamente en la corteza continental. Se encuentra rellena de rocas sedimentarias y volcánicas de edad Cretácica. Esta, se encuentra localizada en la parte centro-oriental de la Plataforma Sudamericana (Fig. 1). Presenta una potencia de ca. 6000 m de rocas sedimentarias y magmáticas, cubriendo una superficie del orden 1.600.000 km<sup>2</sup> abarcando parte de Brasil, Uruguay, Argentina y Paraguay (Fig. 1).



**Figura 1.** Distribución del magmatismo Mesozoico (Provincia Paraná – Etendeka).

En Paraguay los basaltos de la Provincia Paraná – Etendeka son denominados Suite Magmática Sapucaí / Formación Alto Paraguay (Harrington 1950; Putzer 1962). Esta unidad se extiende en dirección NS, a lo largo del Río Paraná y es correlacionada con la denominada Serra Geral (Brasil), Curuzú Cuatiá-Posadas (Argentina) y Arapey (Uruguay). De Salvo (1991) sugiere un espesor variable de estos basaltos entre 37 m a 90 m cubriendo un área de 25.000 km<sup>2</sup> (Fariña 2005).

Por otra parte, la Formación Iratí corresponde a una secuencia sedimentaria Pérmica. A partir de la clasificación de granos de polen y su distribución Daemon y Quadros (1970) propusieron una edad Kazaniana (ca. 270-260 Ma para la Formación Iratí. Estudios isotópicos U/Pb SHRIMP realizados por Santos et al. (2006), sobre rocas volcánicas intercaladas con estos sedimentos, arrojaron edades de 278 Ma. Estos autores refuerzan la edad de  $278.4 \pm 2.2$  Ma dada la consistencia con la descripción de palinomorfos del mismo lugar. La cuenca del Paraná presenta niveles de sedimentos ricos en materia orgánica, por lo que ha sido considerada una fuente importante de petróleo, presentando además una distribución geográfica amplia y espesor uniforme (Rohn 2007). Estas rocas presentan evidencia de gas que, en la mayoría de los casos, está



relacionado con la descomposición térmica de la materia orgánica en las inmediaciones de intrusiones ígneas basálticas del Cretácico. La Formación Iratí está estratigráficamente por debajo del Grupo Passa Dois (Milani y Zalán 1999) y está compuesta por lutitas, lutitas bituminosas, calizas, ritmitas, anhidritas, margas y areniscas, que fueron depositadas en un ambiente marino restringido (Carlos et al., 2004 y referencias). Es común la ocurrencia de restos fósiles vegetales, vertebrados, invertebrados, palinomorfos e icnofósiles (Mussa et al. 1980; Oelofsen and Araújo 1983; Pinto and Adami-Rodrigues 1996; entre otros). La Formación Iratí ha sido dividida en dos miembros: Taquaral (inferior) y Assistência (superior). El miembro Assistência está constituido por un paquete potente de pizarras bituminosas. En Paraguay, esta secuencia está poco estudiada y es parte del Grupo Independencia (Harrington 1956, González 2000). El área de estudio se encuentra en la frontera oriental del Paraguay (Figura 2).



**Figura 2.** Localización del área de estudio.

### **Pseudopeperitas**

Los basaltos analizados son objeto de explotación como áridos de construcción en la cantera Nakunday (Figura 3) localizada en las cercanías de la localidad de Santa Rita (25 ° 45'53 .88 "S y 55 ° 7'53 .67" O), este de Paraguay. Afloran basaltos masivos con más de 10 metros de espesor (Figura 3). Localmente ocurren bloques de sedimentos de la Formación Iratí. Una característica notable de uno de estos xenolitos es su apariencia manchada debido a las inclusiones de color negro verdoso comparable al de los basaltos. Al mismo tiempo, fragmentos de las sedimentitas ocurren dentro de los basaltos. Algunas fracturas fueron ocupadas por calcita espática.



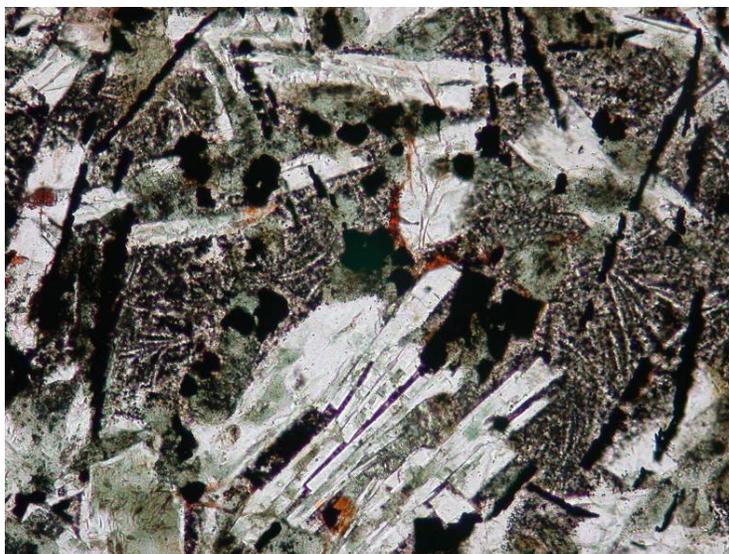
**Figura 3.** Vista general de la Cantera de basaltos.

En general los basaltos tienen color negro amarillado (brownish black 5YR 2/1), conteniendo tablillas muy finas de hasta 1 mm de plagioclasa traslúcida y diminutos granos de piroxeno gris verdoso. Cercanos al contacto con los bloques sedimentarios su apariencia es manchada, con sectores entremezclados de colores gris oliva (olive green 5Y 4/1 GSA, 1991) y gris amarillado (5YR 2/1), destacándose entonces amígdalas de

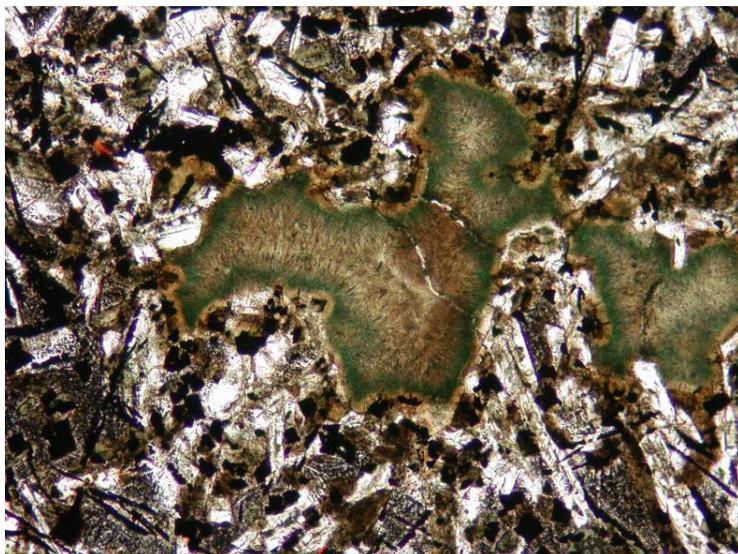


formas irregulares (irregularly shaped) de hasta 7 mm en su mayor dimensión, formadas por material blando de brillo céreo y color gris verdoso.

Al microscopio el basalto más común tiene textura intersertal compuesta por plagioclasa inalterada y clinopiroxeno anhedral en proporciones semejantes, acompañadas por un 12% de minerales opacos (en parte ilmenita) y un 4% de material intersticial de color castaño-verdoso débilmente pleocroico. El basalto cercano al contacto con el bloque sedimentario se caracteriza por la mayor proporción de material intersticial fino en el que se aprecian evidentes texturas radiadas de desvitrificación (Fig. 4), formadas por filosilicatos de grano muy fino y color verde claro y minerales opacos cuyos cristales mayores llegan a atravesar a las microlitas de plagioclasa revelando su origen secundario. En proporción inferior al 1% aparece palagonita de color anaranjado. Las amígdalas muy comunes en estos basaltos, presentan esmectitas de color verde en el borde que se tornan incoloras hacia el centro. Las de mayor tamaño son claramente zonales y suelen tener un delgado borde discontinuo de calcedonia y de mineral opaco (Fig. 5). Mediante análisis con rayos X se determinó la presencia de meixnerita y cobre metálico en los bordes de estas amígdalas (Novo et al., 2010; Sánchez Bettucci et al., 2010)



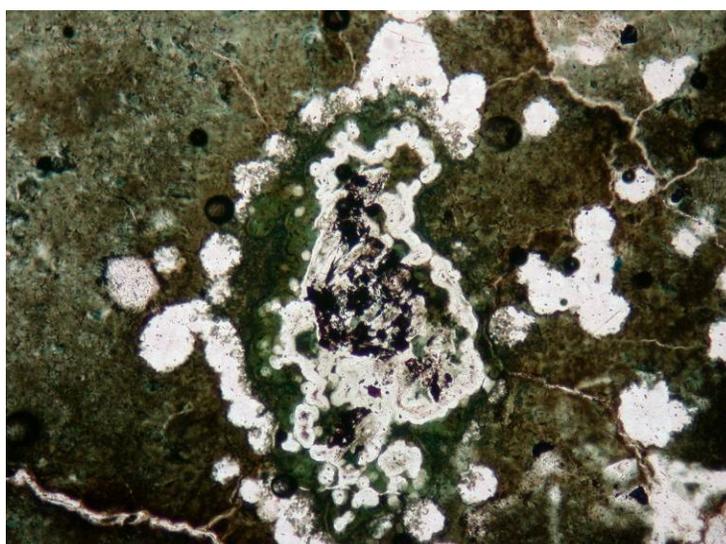
**Figura 4.** Texturas de desvitrificación radiadas y arborescentes en la pasta del basalto próximo al contacto con la roca sedimentaria. Sin analizador intercalado. El ancho del campo abarcado por la fotomicrografía es 1.5 mm.



**Figura 5:** Amígdalas del basalto en las proximidades de la roca sedimentaria. Sin analizador intercalado. El ancho del campo abarcado por la fotomicrografía es 3 mm.



Dentro del bloque sedimentario aparecen de color gris amarillento (5Y 7/2), constituidas por arcillas higroscópicas con diseminación de cristales de calcita gris verdosa clara, traslúcida y de diferentes hábitos, en partes son aparentemente prismáticos muy finos de hasta 5 mm, y otros forman agregados irregulares de hasta 1 mm. En estas rocas es notable la presencia de aparentes fragmentos y “motas” de color gris oscuro (N3), con formas irregulares y tamaños muy diversos que alcanzan los 2 cm, formados por materiales afaníticos de dureza variable (probablemente debido a diferentes grados de silicificación). Al microscopio los sectores claros están formados por material casi isótropo de color castaño muy claro, dentro del cual se distinguen agregados de calcita recristalizada cuyas formas sugieren orígenes a partir de restos orgánicos. Los supuestos fragmentos o “motas” de color gris oscuro al microscopio aparecen formados por esmectitas de color verde similares a las que componen las amígdalas de los basaltos vecinos, pero de granulometría más fina, con bordes de calcedonia en texturas esferulíticas. En el interior de estos fragmentos oscuros, en algunos casos, pudo observarse un pequeño fragmento de pasta basáltica (Fig. 6).



**Figura 6:** “Pseudoamígdala” en un bloque sedimentario incluido en el basalto. El mineral blanco es calcedonia. En el interior se observa un fragmento de pasta basáltica. Sin analizador intercalado. El ancho del campo abarcado por la fotomicrografía es 3 mm.

### Discusión y conclusiones

La presencia de texturas de desvitrificación en los basaltos claramente indica su consolidación extremadamente rápida, y por ello muy cercana a la superficie. Similares consideraciones pueden hacerse con respecto a la abundancia de vesículas, posteriormente transformadas en amígdalas seguramente durante el enfriamiento y los procesos metasomáticos que pueden haber afectado a estas lavas de edad cretácica.

Los fragmentos de pastas basálticas que se corresponden con el basalto que contiene a los bloques de la roca sedimentaria sugieren la interacción de magma con sedimentos, y dado que la edad de los sedimentos y los basaltos son diferentes se define al fenómeno descrito como “pseudopeperitas”.

A la característica descrita se agrega que la presencia en la roca sedimentaria de estructuras similares a las amígdalas del basalto (o “pseudoamígdalas”) es un fenómeno muy poco común y, considerando su tamaño y el tamaño que tienen los bloques sedimentarios, difícilmente podría relacionarse con los fluidos que se desprenden de una lava normal, particularmente porque el tamaño que alcanzan las “pseudoamígdalas” del sedimento es mayor a la de las verdaderas amígdalas del basalto.



Finalmente, la particularidad que puede justificar simultáneamente la presencia de “pseudopeperitas” y de “pseudoamígdalas” en la roca sedimentaria es la presencia de hidrocarburos, la cual se conoce en la Formación Iratí (Sanchez Bettucci et al., 2010). Dichos hidrocarburos se habrían volatilizado en parte en presencia de la lava incandescente y bajo la cubierta que representaba la parte superior de la colada basáltica.

## Referencias

Bates, R.L.; Jackson, J.A.J. (Edts). 1987. *Glossary of Geology*. 3rd. Edition. American Geological Institute, Alexandria-USA.

Brooks, E.R., Woods, M.M., Garbutt, P.L., 1982. Origin and metamorphism of peperite and associated rocks in the Devonian Elwell Formation, northern Sierra Nevada, California. *Geological Society of America Bulletin* 93, 1208–1231.

Busby, S.C.J., White, J.D.L., 1987. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. *Bull. Volcanol.* 49, 765–775.

Carlos, D.U., Ribeiro, F.B., Saad, A.R., Araújo Nicolai, S.H. 2004. Radioactivity distribution in some Permian sediments from the Iratí and Corumbatá Formations of the Paraná Basin, Southeastern Brazil *Applied Radiation and Isotopes* 60: 63–77.

Daemon, R.F., Quadros, L.P., 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24, Brasília. Anais, pp. 359–412.

De Salvo, O.E., 1991. Contribución al Conocimiento Hidrogeológico de las Rocas Basálticas de la Formación Alto Paraná. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforaciones de Pozos en el Paraguay. pp 101-117.

Fariña, S. 2005. Resultados preliminares de la hidrogeología en el área de estudio del Sistema Acuífero Guaraní de la parte sur de la región oriental del Paraguay. - Informe de proyecto, Taller del SAG-PY, Asunción 19-20 Septiembre 2005.

Geological Society of America, 1995. *Rock-Color Chart*. U.S.A.

González, M. 2000. *Estratigrafía do Grupo Independencia na Area da Folha Coronel Oviedo*, Republica do Paraguay. Diss. de Mestrado. Universidad do Estado do Río de Janeiro, 160 p., Río de Janeiro.

Harrington, H.J. 1950. *Geología del Paraguay Oriental*. Universidad de Buenos Aires. Fac. de Ciencias Exactas. *Contribuciones Científicas Serie E. Geol.* Tomo: 1.

Harrington, H.J. 1956. Paraguay In: *Handbook of South American Geology*. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 65:99-114.

Jerram, D., Stollhofen, H., 2002. Lava/sediment interaction in desert settings: are all peperite-like textures the result of magma-water interaction? In: Skilling, I.P., White, J.D.L., McPhie, J. (Eds.), *Peperite: Processes and Products of Magma Sediment Mingling*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 114, 231-249.

Jerram, D.A., Mountney, N., Howell, J., Long, D., Stollhofen, H., 2000. Death of a Sand Sea: an active erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia. *J. Geol. Soc. London* 157, 513-516.

Kokelaar, B.P., 1982. Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies. *Journal of the Geological Society, London* 139, 21–33.

Kokelaar, B.P., 1986. Magma–water interaction in sub aqueous and emergent basaltic volcanism. *Bulletin of Volcanology* 48, 275–289.

Milani, E. J., and Zalán, P. V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. *Episodes*, 22, 199-205.



- Mussa, D., Carvalho, R.G. and Santos, P.R., 1980. Estudo estratigráfico em ocorrências fossilíferas da Formação Irati de São Paulo, Brasil. Boletim do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo 11: 142–149.
- Novo, R.; Sánchez Bettucci, L; KOUKHARSKY, M.; GOGICHAISHVILLI, A; TRINDADE, R. 2010. Ocorrência de Meixnerita em sedimentos Pérmicos del Paraguay. In: VI Congreso Uruguayo de Geología, 2010.
- Oelofsen, B. and Araújo, D.C. 1983. Paleogeological implications of the distribution of mesosaurid reptiles in the Permian Irati Sea (Parana Basin), South America. Revista Brasileira de Geociências 13: 1-6.
- Pinto, I. D., And K. Adami-Rodrigues. 1996. Pygocephalomorph Crustacea. New data and interpretations, with emphasis on Brazilian and South African forms. PESQUISAS, 23:41-50.
- Pinto, V. M.; Hartmann, L. A.; Wildner, W.; Theye, T.; Massone, H-J. 2006. Hydrothermal Origin of Native Copper Mineralization in Paraná Flood Basalts, Southern Brazil. In: Semana acadêmica dos alunos de pós-graduação em geociências, 1., 2006, Porto Alegre. Resumos. Porto Alegre: UFRGS, p. 117-120.
- Putzer, H. 1962. Die geologie von Paraguay Beitr. Reg. Geol.. Erde, 2:1-182.
- Rohn, R. 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. I Workshop-Problems in the Western Gondwana Geology, South America - Africa correlations: du Toit revisited (Gramado), Extended Abstracts: 151-157.
- Santos, R.V., Souza, P.A., Alvarenga, C.J.S., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Oliveira, C.G. and Araújo, L.M. 2006. Shrimp U-Pb zircón dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Iratí Formation, Paraná Basin, Brazil. Gondwana Research, 9: 456-463.
- Scherer, C.M.S., Faccini, U.F., Lavina, E.L., 2002. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências., Centro de Investigação do Gondwana, pp. 335–354.
- White, J.D.L., McPhie, J., Skilling, I., 2000. Peperite: a useful genetic term. Bulletin of Volcanology 62, 65–66.