



Suite Alcalina Pepe Núñez, Cretácico Tardío – Paleógeno del Uruguay

Rossana Muzio^{a,b}, Lucía Olivera^{a,b}

Recibido: 28/06/23 | Aceptado: 15/04/24 | Publicado Online: 24/05/24

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la presentación de una nueva unidad litoestratigráfica a partir de los datos petrológicos obtenidos para las rocas ígneas básicas a ultrabásicas, de naturaleza química alcalina, presentes en la Cuenca Norte uruguaya. Se describen los principales rasgos petrográficos y estructuras de un conjunto conformado por nueve conductos subvolcánicos alcalinos, distribuidos en el límite de los departamentos de Salto y Tacuarembó. Se trata de rocas alcalinas subsaturadas, constituidas por cristales de augita, olivino, plagioclasa, nefelina, anfíbol, titano-magnetita. Estos conductos intruyen en rocas sedimentarias de la Formación Tacuarembó y en los basaltos de la Formación Arapey, de edades Juro-Cretácico Temprano, respectivamente. Los datos geocronológicos obtenidos por método K-Ar en roca total señalan para estas litologías alcalinas edades entre 79.2 y 51.5 Ma, lo que señala la presencia un evento magmático posterior al último registro ígneo conocido no solo en la cuenca Norte uruguaya sino también para Uruguay. Se propone nombrar a este conjunto de *plugs* alcalinos, en base a sus rasgos petrológicos particulares y al intervalo de tiempo restringido que presentan, como Suite alcalina Pepe Núñez.

Palabras clave: petrografía, geocronología, *plugs* alcalinos

✉ Rossana Muzio: rossana@fcien.edu.uy

Editores: Msc. Fernando Scaglia, Dr. Pablo Núñez Demarco

^a Facultad de Ciencias, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay

Cita: Muzio, R., Olivera, L. (2023) Suite Alcalina Pepe Núñez, Cretácico Tardío – Paleógeno del Uruguay - Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología 2:12

^b PEDECIBA – Área Geociencias, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay

Doi:

Pepe Núñez Alkaline Suite, Late Cretaceous – Palogene of Uruguay

ABSTRACT

The aim of this work is to present a new lithostratigraphic unit from petrological data obtained on basic – ultrabasic alkaline igneous rocks present in the Uruguayan North Basin. The main petrologic and structural features of nine alkaline subvolcanic plugs, distributed in the limit of Salto and Tacuarembó departments, are described. There are undersaturated alkaline rocks composed by augite, olivine, plagioclase, nepheline, amphibole, Ti-magnetite and pyrite. These subvolcanic conduits intrude sedimentary rocks of the Tacuarembó Formation and the basalts of the Arapey Formation of Jurassic-Early Cretaceous age, respectively. The data obtained from whole rocks analyses with K-Ar method yielded ages for these alkaline lithologies between 79.2 and 51.5 Ma. These results point out the presence of a magmatic event subsequent to the last known igneous record not only for the Uruguayan North basin but also for Uruguay. Based on their particular petrological features and their restricted time record, the name of Pepe Núñez alkaline Suite is proposed to refer to this set of alkaline plugs.

Key words: petrography, geochronology, alkaline plugs

Suite Alcalina Pepe Núñez, Cretáceo Tardio – Paleógeno do Uruguai

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma nova unidade litoestratigráfica a partir dos dados petrológicos obtidos para as rochas básicas alcalinas presentes Bacia Norte uruguaia. São descritas as principais feições petrográficas e estruturais de um conjunto de nove condutos subvulcânicos distribuídos no limite dos departamentos de Salto e Tacuarembó. Tratam-se de rochas básicas subsaturadas, compostas por augita, olivina, plagioclásio, nefelina, anfibólio, titano-magnetita e pirita. Estes condutos fazem intrusão em rochas sedimentares da Formação Tacuarembó e nos basaltos da Formação Arapey, de idades Jurássico e Cretáceo inferior, respetivamente. Os dados geocronológicos obtidos por método K-Ar em rocha total aportam idades entre 72.9 e 51.5 Ma para estas litologías alcalinas, o que evidencia a existência de um evento magmático posterior ao último registro ígneo conhecido na Bacia Norte uruguáia e também para Uruguai. Com base em suas características petrológicas particulares e no intervalo de tempo restrito que apresentam, propõe-se denominar este conjunto de plugs alcalinos como Suite alcalina Pepe Núñez.

Palavras-chave: petrografia, geocronologia, plugs alcalinos

Introducción y antecedentes

Los registros ígneos de la Cuenca Norte uruguaya (Ucha y De Santa Ana, 1994) asociados a los eventos tectono-magmáticos del Cretácico Temprano están constituidos por los derrames basálticos tholeíticos de la Formación Arapey (Bossi, 1966) y los cuerpos intrusivos básicos asociados de Formación Cuaró (Preciozzi et al, 1985). Este magmatismo de naturaleza tholeítica, representa la expresión más meridional de la Provincia Magmática Paraná (Peate, 1997) la cual, además, comprende numerosas ocurrencias de eventos magmáticos alcalinos (Ulbrich y Gomes, 1981; Milner et al., 1995; Huang et al., 1995; otros más).

A partir de los trabajos de Olivera (2019) y Olivera y Muzio (2019), se presentan los primeros datos de reconocimiento de rocas básicas alcalinas subsaturadas en el límite de los departamentos de Salto y Tacuarembó, un registro hasta entonces inédito en dicha región del país. Estos estudios permitieron identificar tres conductos alcalinos (*plugs*), compuestos por tefritas con nefelina. Estos conductos representan geoformas destacadas en el paisaje, cortando los basaltos de la Formación Arapey próximo a la localidad de Pepe Núñez (departamento de Salto). Las tefritas descritas son de textura inequigranular porfírica, hipocristalina, compuesta por nefelina, olivino y augita (como mega cristales y como minerales de la matriz), además de minerales opacos. Ocasionalmente, presentan vacuolas rellenas por carbonato de calcio. Recientemente, Olivera (2022) y Muzio et al. (2022) identificaron seis nuevos conductos alcalinos que, conjuntamente con los tres cuerpos anteriores, marcan una distribución espacial con una tendencia estructural según la dirección NNW-SSE. Estos nuevos conductos presentan, en algunos casos, una mayor diversidad litológica representada por basaltos alcalinos y traquibasaltos, además de las tefritas anteriormente mencionadas.

Geología del área

Este conjunto de unidades alcalinas básicas subsaturadas se encuentra localizado principalmente en la zona este del departamento de Salto, casi en el límite con el departamento de Tacuarembó, siendo la ciudad homónima la capital departamental más cercana al área (Figura 1). La mayoría de los cuerpos alcalinos se encuentran en el entorno de la localidad de Pepe Núñez (departamento de Salto), excepto dos de los cerros que se encuentran ubicados en el departamento de Tacuarembó. En función de su ubicación geográfica, estos conductos intruyen areniscas de la Formación Tacuarembó (Bossi, 1966), o lavas basálticas de la Formación Arapey (Bossi, 1966), destacándose en el paisaje al conformar cerros con alturas entre 222 y 320 metros sobre el nivel del mar, con una cota de base promedio de 200 metros sobre el nivel del mar. La geometría de los cerros que componen este conjunto es generalmente circular a elíptica, con diámetros o ejes mayores (con orientación NW – SE), variables entre 80 y 450 metros (Figura 2A). Desde el punto de vista estructural, estas geoformas presentan los mejores afloramientos hacia el tope de los cerros, con desarrollo de disyunciones columnares de escala decimétrica, visibles también en losas o afloramientos a

nivel del suelo conformando estructuras regulares cuadradas o hexagonales que alcanzan, en algunos casos, hasta seis metros de altura (Figuras 2B, 2C).

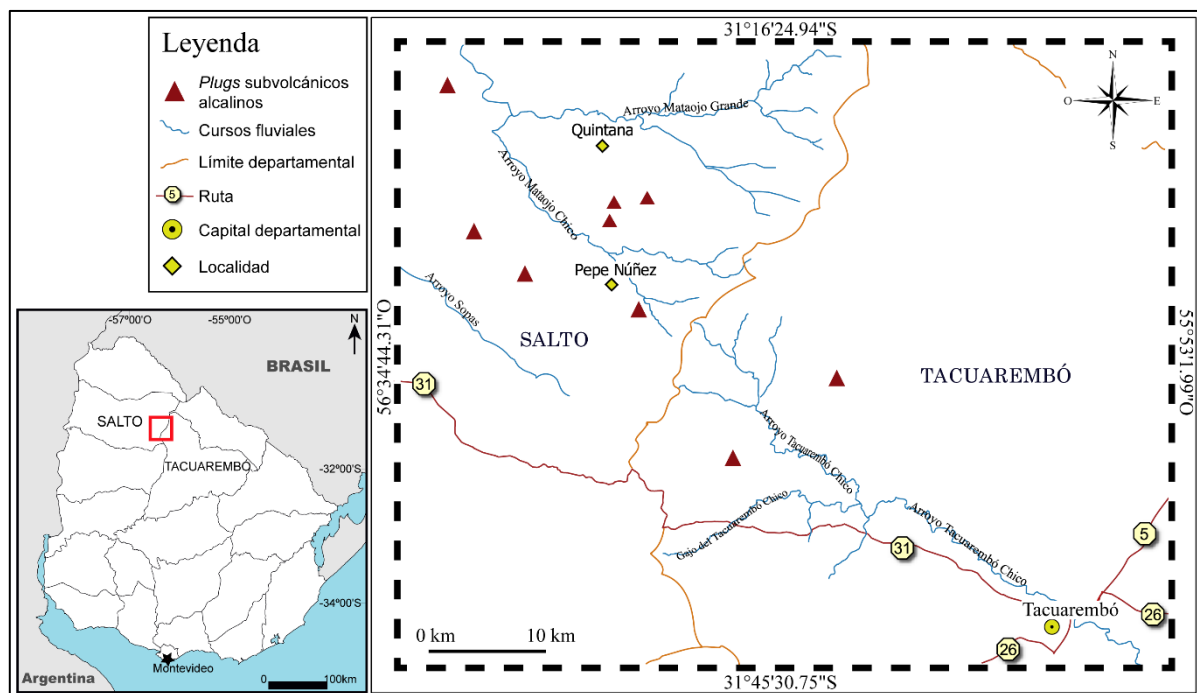


FIGURA 1. Localización geográfica de los *plugs* subvolcánicos alcalinos.

FIGURE 1. Geographic location of the subvolcanic alkaline plugs.

A partir de los trabajos de Olivera (2019; 2022) y Olivera y Muzio (2019), fueron descritos y analizados los principales rasgos petrográficos y litoquímicos de las rocas presentes en los nueve *plugs*, resultando en la identificación de tres litofacies ultrabásicas a básicas, alcalinas y subsaturadas: tefritas, traquibasaltos y basaltos alcalinos.

Las tefritas con nefelina, son la única litología presente en cinco de los nueve conductos estudiados. Mineralógicamente están compuestas por cristales de clinopiroxeno (augita) y nefelina (como megacristales y asociada a ocelos), además de olivino magnesiano, titanomagnetita, apatito y pirita (Figura 2D, 2E). Un rasgo textural importante es la presencia de xenocristales y xenolitos compuestos por cuarzo o areniscas y la presencia de estructuras ocelares compuestas por nefelina, analcima y carbonatos (Figura 2D, 2E).

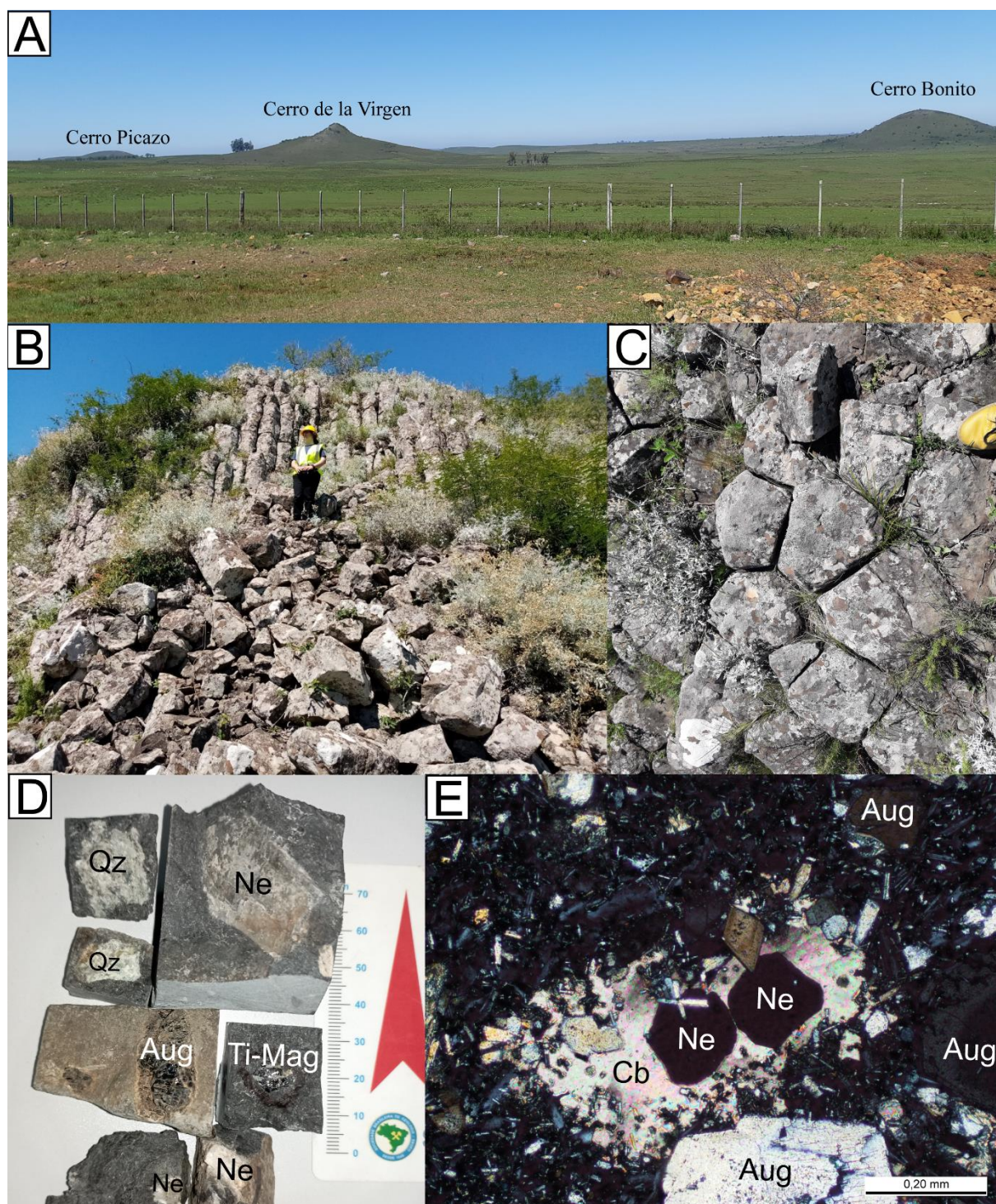


FIGURA 2. A) Conjunto de *plugs* subvolcánicos alcalinos próximo a la localidad de Pepe Núñez. B) Paredón con disyunción columnar en Cerro Cololó. C) Geometría en planta de disyunción columnar de Cerro Cololó. D) Megacristales de nefelina, augita, titano-magnetita y xenolitos/xenocristales de cuarzo. E) Sección delgada de traquibasalto alcalino mostrando ocelo con cristales de nefelina y carbonato, rodeado por cristales de augita. Referencias: cuarzo (Qz), nefelina (Ne), augita (Aug), titano-magnetita (Ti-Mag), carbonato (Cb).

FIGURE 2. A) Set of subvolcanic alkaline plugs, close to Pepe Núñez locality. B) Wall showing columnar joints at the top of Cololó hill. C) Geometry of the columnar joints on ground. D) Nepheline, augite, titano-magnetite megacrysts and quartz xenoliths/xenocrysts. E) Thin section of alkaline trachybasalt, showing ocellus with infill of nepheline and carbonate surrounded by augite crystals. References: quartz (Qz), nepheline (Ne), augite (Aug), titano-magnetite (Ti-Mag), carbonate (Cb).

Los basaltos alcalinos y traquibasaltos están presentes en los cuatro conductos restantes, dos de los cuales están localizados en el departamento de Tacuarembó (Figura 1). Desde el punto de vista petrográfico y mineralógico, se tratan de litologías con textura porfirítica con megacrístales de augita y nefelina o sólo augita (basaltos y traquibasaltos, respectivamente), con bajo porcentaje de vacuolas ($< 5\%$) pero también con presencia de estructuras ocelares compuestas por nefelina/analcima, carbonato (dolomita) y augita; y una matriz compuesta por olivino magnesiano, augita, plagioclasea, nefelina/analcima, carbonatos, titanomagnetita y pirita. Los porcentajes de plagioclasea presente varían en función de las litologías descritas entre un 20 – 40%. Asimismo, los porcentajes modales de nefelina varían en función del tipo de roca, variando desde 15% en el caso de las tefritas, un 5% en los traquibasaltos y un 2% a 0% en los basaltos alcalinos.

Desde el punto de vista químico todas las litologías clasifican en el campo de rocas metaluminosas, alcalinas subsaturadas de transicionales a sódicas (Olivera, 2022). Los datos litoquímicos de elementos traza indican para el conjunto de *plugs* estudiados una posible fuente tipo OIB asociada a un contexto intraplaca anorogénico.

Finalmente, los datos geocronológicos obtenidos a través del método K/Ar (en roca total; Olivera, 2022), en siete de los nueve conductos, indican un rango de edades para todo el conjunto comprendido entre el Cretácico Tardío y Eoceno (Paleógeno), representando así un evento magmático inédito para la Cuenca Norte uruguaya que posdata a los derrames basálticos de la Formación Arapey y a los cuerpos intrusivos básicos asociados de la Formación Cuaró. Los datos isotópicos Sr-Nd-Pb disponibles para el conjunto de *plugs* localizado en los alrededores de la localidad de Pepe Núñez, correspondientes a litologías ultrabásicas (tefritas con nefelina), señalan para estos magmas una fuente de origen dentro del manto tipo OIB (*ocean island basalts*) con características isotópicas del reservorio mantélico PREMA/BSE (*Prevalent Mantle/Bulk Silicate Earth*; Zindler y Hart, 1986). Los análisis geocronológicos, así como los datos isotópicos están detallados en los trabajos de Olivera (2022) y Muzio et al. (2022).

Discusión

El magmatismo alcalino ha sido un evento recurrente en la Cuenca Paraná (Riccomini et al., 2005) durante las diferentes etapas tectono-magmáticas relacionadas con la apertura del océano Atlántico sur y con la Provincia Magmática Paraná (PMP; Peate, 1997). Es así que, existen numerosos registros de actividad magmática alcalina previos, simultáneos y posteriores al principal evento eruptivo representado por el magmatismo tholeítico de la PMP, tanto en Sudamérica como en la contraparte africana (Ulbrich y Gomes, 1981; Marsh et al., 1991; Huang et al., 1995; Milner et al., 1995; Comin-Chiaramonti et al., 2007a, b; Gomes et al., 2011; Ernst, 2014). A nivel sudamericano, se encuentran registros de cuerpos intrusivos e hipoabisales alcalinos, con edades comprendidas entre el Permo-Triásico y el Paleógeno, cuyo emplazamiento está relacionado con las diferentes etapas de reactivación tectónica de la plataforma

sudamericana (Gomes et al., 1996, 2003; Comin-Chiaramonti et al., 1991, Gomes y Comin-Chiaramonti, 2005).

A nivel regional, las rocas alcalinas más cercanas al Uruguay, se encuentran en el sur de Brasil, en la región central de Argentina y sur de Paraguay. La unidad Sierra Chica en Córdoba (Argentina), está asociada al Sistema de Rift Central de dirección NNW (Ramos 1999; Rossello y Mozetic 1999; Lagorio et al., 2016), con edades de entre 136 a 115 Ma, (Lagorio et al., 2016; Cejudo Ruiz et al., 2006). En Brasil, la provincia alcalina más cercana a Uruguay es la Provincia Piratini (Rio Grande do Sul), conformada esencialmente por fonolitas cuyas edades varían entre 99 a 76 Ma (Barbieri et al., 1987), y están relacionadas al Graben Moirão, de dirección NE-SW (Riccomini et al., 2005). En Paraguay, las Provincias Central, Misiones y Asunción, son las más cercanas a nuestro territorio, con edades promedio de 126 Ma, 118 Ma y 59 Ma, respectivamente (Gomes et al., 2013). Las Provincias Central y Asunción se encuentran vinculadas al Rift de Asunción (De Graff, 1985), de dirección general NW-SE (Velázquez et al., 1998). Por otro lado, la Provincia Misiones se encuentra asociada al graben de Santa Rosa (Velázquez et al., 2006). En Uruguay, los únicos registros de magmatismo alcalino reconocidos, asociados a la apertura del océano Atlántico sur y al lineamiento Santa Lucía - Aiguá – Merín (Rossello et al., 2000), corresponden al Macizo Alcalino de Valle Chico, la Serie Alcalina de Lascano y complejos alcalinos Lascano Este – Oeste y San Luis en la región sureste del país (Muzio, 2000; Lustrino et al., 2005; Cernuschi et al., 2015).

Los datos químicos e isotópicos disponibles, específicamente para las unidades litológicas ultrabásicas, hacen que las mismas sean petrogenéticamente similares a las rocas alcalinas sódicas coetáneas de la Provincia Asunción de Paraguay (Gomes et al., 2013; Muzio et al., 2022).

Como fue mencionado al inicio de este trabajo, el objetivo principal es asignar un nombre a este conjunto de litologías que, por sus características petrológicas, representan un evento magmático inédito para el registro geológico de Uruguay.

A través de los antecedentes a nivel regional, se observa que los registros alcalinos asociados a la PMP han sido nombrados de diferentes formas en función de su extensión, de la diversidad litológica, grado de parentesco o evolución magmática entre las unidades litológicas como, por ejemplo: provincia, suite alcalina o complejo alcalino (Phillip et al., 2005; entre otros autores).

El nombre que ha sido aplicado con mayor amplitud en diversos trabajos para agrupar estos registros alcalinos corresponde al de “provincia”, “provincia magmática” o “provincia alcalina”, a pesar de no ser términos litoestratigráficos formales. El término “provincia” si bien tiene múltiples acepciones, su uso generalmente implica que el evento ígneo asociado abarca grandes regiones y engloba múltiples unidades asociadas a una historia geológica o evento tectónico particular (Almeida et al., 1981; Bates y Jackson, 1987; Guimarães et al., 2016). Asimismo, Almeida (1983) adoptó el término de “provincia alcalina” considerando a aquellas rocas que mantienen relaciones petrológicas propias y que pertenecen a determinados intervalos de edades, para referirse a los diferentes grupos de rocas alcalinas presentes en la Cuenca de Paraná. Por otro lado, el término de “provincia magmática” suele utilizarse en sentido tectónico o

descriptivo (también de carácter informal), y el mismo suele incluir diversas unidades litoestratigráficas, como se ejemplifica en los trabajos de Marzoli et al. (2017); Martins et al. (2021) o Silva et al. (2021), entre otros.

Si analizamos otros criterios de nomenclatura relacionados con rocas ígneas, pueden ser considerados otros términos como ser complejo o suite. La Guía Estratigráfica Internacional (Salvador, 1994; Murphy y Salvador, 1999) recomienda para definir unidades litoestratigráficas de origen ígneo el uso del nombre geográfico y las características litológicas de la unidad a ser nombrada, considerando a los cuerpos ígneos intrusivos y a las rocas metamórficas no estratificadas como casos especiales dentro de la litoestratigrafía. Sin embargo, el Código Norteamericano de Nomenclatura Estratigráfica (*North American Commission on Stratigraphic Nomenclature*, 1983) introduce a las unidades litodémicas y a los rangos de suite y complejo para nombrar y definir unidades litoestratigráficas que no conforman capas o estratos horizontales. A pesar de que estos conceptos aún no fueron incorporados en la Guía Estratigráfica Internacional, estos son ampliamente utilizados; p.e. Suite alcalina Passo da Capela, Silva et al. (2021) o Complejo intrusivo Lascano, Cernuschi et al. (2015). El término “Complejo” suele ser aplicado para un conjunto de litologías que tienen relaciones estructurales complejas o que se encuentran mezcladas de forma irregular, de forma que no se puedan separar a nivel de mapa. Mientras que “Suite” solo implica una asociación magmática de litologías similares o relacionadas y asociadas en el tiempo, espacio y origen. En ambos casos, los términos de Complejo o Suite no requieren que exista gran diversidad geológica o litodémica.

El área de distribución geográfica donde se encuentran los diferentes cuerpos alcalinos es relativamente restringida (aproximadamente 1600 km²) y se considera que la zona más accesible y representativa de este magmatismo es la ubicada seis kilómetros al norte de la localidad de Pepe Núñez (Figura 1), accediéndose a la misma por un camino departamental desde la ruta 31. Además del fácil acceso al lugar, los tres cerros allí descritos, correspondientes a litologías ultrabásicas subsaturadas (cerros de la Virgen, Bonito y Picazo; Figura 2A), cuentan con ubicación y nombre en la hoja topográfica a escala 1.50.000 (Hoja K10-Pepe Núñez), del Servicio Geográfico Militar. Se propone entonces designar a la región de Pepe Núñez como localidad tipo que representa a las litologías alcalinas de este evento magmático.

Conclusiones

- Los datos petrográficos, litogeoquímicos y geocronológicos señalan la presencia de un evento magmático entre el Cretácico Tardío – Eoceno (Paleógeno) correspondiente a un conjunto de unidades subvolcánicas alcalinas subsaturadas, básicas a ultrabásicas, inédito para la Cuenca Norte uruguaya y para el Uruguay.
- En base a todos los antecedentes y descripciones mencionadas, se propone el nombre de Suite alcalina Pepe Núñez para el conjunto de *plugs* alcalinos que posdatan al magmatismo basáltico de la Cuenca Norte, localizados en el límite de los departamentos de Salto y Tacuarembó.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a la CSIC y a la ANII por el apoyo financiero a los proyectos CSIC2017 – 152 y FCE2019-156437I y a CAP-UDELAR por las becas de posgrado para L.O. Se agradece al Comité Editorial y revisor anónimo por los valiosos aportes.

Referencias

- Almeida, F.F., 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociencias* 13(3), pp. 139 – 158.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), pp. 1–29. doi:10.1016/0012-8252(81)90003-9
- Barbieri, M., Beccaluva, L., Brotzu, P., Conte, A., Garbarino, C., Gomes, C.B., Loss, E.L., Macciotta, G., Morbidelli, L., Scheibe, L.F., Tamura, R.M., Traversa, G., 1987. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 1. The phonolite suite from Piratini RS. *Geochimica Brasiliensis* 1, pp. 109-138.
- Bates, R.; Jackson, J.L., 1987. *Glossary of Geology*. Third Edition. American Geological Institute, Virginia, EEUU, 788 p.
- Bossi, J., 1966. *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 469 p.
- Cejudo Ruiz, R., Goguitchaivili, A., Geuna, S.E., Alva-Valdivia, L., Solé, J., Morales, J., 2006. Early cretaceous absolute geomagnetic paleointensities from Córdoba province (Argentina). *Earth Planets Space* 58(10): pp. 1333–1339.
- Cernuschi, F., Dilles, J.H., Kent, J.R., Schroer, G., Raab, A.K., Conti, B., Muzio, R., 2015. Geology, geochemistry and geochronology of the Cretaceous Lascano East intrusive complex and magmatic evolution of the Laguna Merín basin, Uruguay. *Gondwana Research* 28, pp. 837–857.
- Comin-Chiaramonti, P., Civetta, L., Petrini, P., Piccirillo, E.M., Bellieni, G., Censi, P., Bitschene, P.R., Demarchi, D., De Min, A.; Gomes, C.B., Castillo, A.M.C., Velázquez, J.C., 1991. Tertiary nephelinitic magmatism in eastern Paraguay: petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel peridotite xenoliths. *European Journal of Mineralogy* 3, pp. 507-525.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B., Cundari, A., Castorina, F., Censi, P., 2007a. A review of carbonatitic magmatism in the Paraná-Angola-Namibia (PAN) system. 2007. *Periodico di Mineralogia*. An International Journal of Mineralogy, Crystallography, Geochemistry, Ore Deposits, Petrology, Volcanology and applied topics on Environment, Archaeometry and Cultural Heritage (76), pp. 2-3, pp. 25-78.

- Comin-Chiaramonti, P., Marzoli, A., Gomes, C.B., Milan, A., Riccomini, C., Velázquez, V., Mantovani, M., Renne, P., Tassinari, C.C.G., Vasconcelos, P., 2007b. The origin of post-Paleozoic magmatism in Eastern Paraguay. *Special Paper of the Geological Society of America*. 430. 10.1130/2007.2430(29).
- De Graff, J.M., 1985. Late Mesozoic crustal extension and rifting on the western edge of the Paraná Basin, Paraguay. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 17, p. 560.
- Ernst, R., 2014. Introduction, definition, and general characteristics. En: *Large Igneous Provinces*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 1-39.
- Gomes, C.B., Laurenzi, M.A., Censi, P., De Min, A., Velázquez, V.F., Comin-Chiaramonti, P., 1996. Alkaline magmatism from northern Paraguay (Alto Paraguay): a Permo-Triassic Province. En: Comin-Chiaramonti, P. y Gomes, C.B. (Eds.) *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. São Paulo: Edusp-Fapesp, pp. 223-230.
- Gomes, C.B., Milan, A., Velázquez, V.F., Riccomini, C., Comin-Chiaramonti, P., Vasconcelos, P.M., Tassinari, C.C.G., 2003. Magmatismo alcalino da porção centro-oriental do Paraguai: novos dados geocronológicos para as rochas das províncias Central e Assunção. 7º Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Maputo, Resumos, pp. 34.
- Gomes, C., Comin-Chiaramonti, P., 2005. An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná-Basin. En: GOMES, C. & COMIN-CHIARAMONTI, P (Eds.). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in The Brazilian Platform*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, pp. 21-30.
- Gomes, C.B., Ruberti, E., Comin-Chiaramonti, P., Azzone, R.G., 2011. Alkaline magmatism in the Ponta Grossa Arch, SE Brazil: A review 2011. *Journal of South American Earth Sciences*. (32), pp. 152-168.
- Gomes, C.B., Comin-Chiaramonti, P., Velázquez, V.F., 2013. A synthesis on the alkaline magmatism of Eastern Paraguay. *Brazilian Journal of Geology*, 43, v.4, pp. 745-761, DOI: 10.5327/Z2317-488920130004000012.
- Gordillo, C.E., Lencinas, A., 1967. Geología y petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores, Córdoba. *Boletín Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*. 46(1), pp. 73–108.
- Guimarães, I. P., de Fátima L. de Brito, M., de A. Lages, G., da Silva Filho, A. F., Santos, L., Brasilino, R. G., 2016. Tonian granitic magmatism of the Borborema Province, NE Brazil: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, pp. 97–112. doi: 10.1016/j.jsames.2015.10.009
- Huang, H.M., Hawkesworth, C.J., Van Calsteren, P., McDermott, F., 1995. Geochemical characteristics and origin of the Jacupiranga carbonatites, Brazil. *Chemical Geology* 119, pp. 79-99.
- Lagorio, S.L., Vizán, H., Geuna, S.E., 2016. Early Cretaceous Volcanism in Central Argentina. En: Lagorio S.L.; Vizán H.; Geuna S.E.(Eds.). *Early Cretaceous Volcanism in Central and Eastern Argentina During Gondwana Break-Up*. Springer Briefs in Earth System Sciences. Springer. Cap. 2, pp. 9-86.

- Lustrino, M., Melluso, L.; Brotzu, P., Gomes, C., Morbidelli, L., Muzio, R., Ruberti, E.; Tassinari, C., 2005. Petrogenesis of the Early Cretaceous Valle Chico igneous complex (SE Uruguay): relationships with Paraná-Etendeka felsic rocks. *Lithos*, 82: pp.407-434.
- Martins, G., Mendes, J. C., Schmitt, R. da S., Armstrong, R., 2021. Unravelling source and tectonic environment of an Ediacaran magmatic province from southeast Brazil: Insights from geochemistry and isotopic investigation. *Lithos*, pp. 404-405, 106428. doi: 10.1016/j.lithos.2021.106428
- Marzoli, A., Callegaro, S., Dal Corso, J., Davies, J. H. F. L., Chiaradia, M., Youbi, N., ... Jourdan, F., 2017. The Central Atlantic Magmatic Province (CAMP): A Review. *The Late Triassic World*, pp. 91–125. doi:10.1007/978-3-319-68009-5_4
- Milner, S.C., Le Roex, A.P., O'Connor, J.M., 1995. Age of Mesozoic igneous rocks in northwestern Namibia, and their relationship to continental break-up, *J. Geol. Soc. Lond.*, 152, pp. 97-104.
- Murphy, M.; Salvador, A. 1999. *International Stratigraphic Guide — An abridged version*. Episodes 22 (4), pp. 255 – 272.
- Muzio, R., 2000. *Evolução petrológica e geocronologia do maciço alcalino Valle Chico, Uruguai*. Ph.D. Thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 171 pp.
- Muzio, R., Olivera, L., Fort, S., Peel, E., 2022. Petrological features of the first Cenozoic alkaline magmatic event recorded in northwestern Uruguay, southern extreme of the Paraná basin. *J. South American Earth Sciences*, 116, 1 – 11, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103796>.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983. *North American Stratigraphic Code*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, pp. 841-875.
- Olivera, L., 2019. *Petrología de rocas volcánicas al Norte de Pepe Núñez (Depto. de Salto)*. Tesis de Grado Licenciatura en Geología, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Udelar, Montevideo, 97 p.
- Olivera, L., 2022. *Aspectos petrológicos del magmatismo alcalino del noroeste del Uruguay (Departamentos de Salto y Uruguay)*. Tesis de maestría, Udelar, FC – PEDECIBA, Montevideo, 96 p.
- Olivera, L., Muzio, R., 2019. Petrografía del magmatismo alcalino en la Cuenca Norte uruguaya (departamento de Salto). *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 22, pp. 27-48, <https://www.sociedadgeologiauy.org/revista-no-22-2019>.
- Peate, D., 1997. *The Parana-Etendeka Province*. Department of Earth Sciences, The Open University, United Kingdom, pp. 217-245.
- Peccerillo, A., 2002. Plio-Quaternary magmatism in central-southern Italy; a new classification scheme for volcanic provinces and its geodynamic implications. *Boll. Società Geol. Ital.*, 1, pp. 113 – 127.
- Philipp, R.P., Viero, A.P., Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B., 2005. Mesozoic Alkaline Rocks of Rio Grande do Sul. En: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B (Eds.). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. Editora Da Universidade de São Paulo, pp. 562-590.

- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., Rossi, P., 1985. Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1: 500.000. Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo, 92 p.
- Ramos, V.A., 1999. Evolución tectónica de la Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Geología Argentina, Buenos Aires. Anales 29(24), pp. 715–784.
- Riccomini, C., Velázquez, V.F., Gomes, C. B., 2005. Controls of The Mesozoic and Cenozoic Alkaline Magmatism in Central-Southeastern Brazilian Platform. En: COMIN-CHIARAMONTI, P. & GOMES, C. B. (Eds.) Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in The Brazilian Platform. São Paulo: EDUSP/FAPESP. (2.), pp. 31-56.
- Rossello, E., MOZETIC, M.E., 1999. Caracterización estructural y significado geotectónico de los depocentros cretácicos continentales del centro—oeste argentino. Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, UNESP—Campus de Rio Claro/SP: pp. 107–113.
- Rossello, E.A., De Santa Ana, H., Veroslavsky, G., 2000. El lineamiento Santa Lucía – Aiguá – Merín (Uruguay): un corredor extensivo y transcurrente dextral precursor de la apertura atlántica. Revista Brasileira de Geociencias, 30 (4), 749 – 756.
- Salvador, A., 1994. International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic classification, terminology, and Procedure. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America. 2nd Edition, 207 p.
- Silva, A. B. D., Sander, A., Queiroga, G. N., Castro, M. P. D., 2021. Plugs fonolíticos Solidez, Canguçu, RS: um novo litodema na província alcalina Piratini. Contribuições à Ciência e Técnica dos(as) Jovens Geólogos(as) Brasileiros(as), 50 Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília, pp. 325 – 333.
- Ucha, N., De Santa Ana, H., 1994. Exploration perspectives and hydrocarbon potential of the Uruguayan sedimentary basins. ANCAP Report, Montevideo, 90 p.
- Ulbrich, H.H.G.J., Gomes, C.B., 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. Earth Science Reviews, 17, pp. 135-154.
- Velázquez, V.F., Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., Gomes, C.B., Riccomini, C., 2006. Cretaceous Na-Alkaline Magmatism from the Misiones Province (Paraguay): Its relationships with the Paleocene Na-alkaline analog from Asunción and geodynamic significance. Journal of Geology, 114, 5, pp. 593-614.
- Velázquez, V.F., Riccomini, C., Gomes, C.B., Figueredo, L.B., Figueredo, C., 1998. Relações tectônicas do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, Brasil, 19 (1/2), 43 - 49.
- Zindler, A., Hart, S., 1986. Chemical geodynamics. Ann. Review of Earth Planetary Sciences 14, pp. 493 – 571.