

**PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA DEL GABRO OLIVÍNICO MESOZOICO EN EL DIQUE  
MANSAVILLAGRA, FLORIDA, URUGUAY**

**PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE MESOZOIC OLIVINE GABBRO IN THE  
MANSAVILLAGRA DYKE, FLORIDA, URUGUAY**

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO OLIVINA GABRO MESOZOICO NO DIQUE  
MANSAVILLAGRA, FLORIDA, URUGUAY**

**Henri Masquelin <sup>a</sup>, Tahar Aïfa <sup>b</sup>, Hernán Silva Lara <sup>c</sup>, Marcos Cardozo <sup>d</sup>,  
Eduardo Navia <sup>d</sup>, Fernando Scaglia <sup>e</sup>, Rossana Muzio <sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias – Udelar, Av. Iguá 4225, p. 12, Montevideo, Uruguay. e-mail:emasquelin@fcien.edu.uy

<sup>b</sup> Rennes Géosciences, Univ. Rennes I, Laboratoire CNRS 6118, Rennes, Francia.

<sup>c</sup> Curso de posgrado, Georg-August Universität Göttingen, Wilhelmsplatz 1, 37073 Göttingen, Alemania.

<sup>c</sup> Curso de grado, Licenciatura de Geología, Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.

<sup>c</sup> Curso de posgrado de PEDECIBA Geociencias, Facultad de Ciencias – Udelar; Montevideo.

---

Recibido: 26/05/21

Aceptado: 23/08/21

Publicado: 28/02/22

Editores: Dr. César Goso

revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 - Uruguay Tel: 2929 0318-int. 1612/1613

www.sociedadgeologiauy.org

---

## RESUMEN

Este trabajo describe la petrología de un gabro de grano centimétrico, textura subofítica, conteniendo plagioclasa, olivino, augita y magnetita, situado en Paso Real de Mansavillagra, Departamento de Florida. Según el mapa de susceptibilidad magnética aparente, obtenido a partir de la anomalía del campo magnético regional reducida al polo, el gabro afloraría en un relay dilatante rómbico, situado a lo largo de un dique máfico escalonado destrál, orientado N115°. La edad relativa mesozoica del gabro es deducible, ya que la falla Sarandí del Yí no lo desplaza. Este dique parte de un centro de emisión radial localizado en el Complejo Valle Chico y alcanza el Terreno Piedra Alta. Geoquímicamente, se trata de un basalto toleítico subalcalino de intraplaca, derivado de MORB enriquecido. Presenta cierto incremento de ETR livianos y altos valores relativos de Yb. Integra una serie magmática de elementos incompatibles Ba-Y-Yb compartida con los diques doleríticos de Cuaró y Ladrillos. Sin embargo, a diferencia de estos, posee una anomalía de Eu positiva inusual. Los diques doleríticos Ladrillos están situados ligeramente al Norte, tienen una corrida N107°. Aunque partiendo del mismo complejo intrusivo, estos no siguen la misma tendencia de diferenciación, ya que muestran una ligera anomalía negativa de Eu, además de tener una edad relativa algo mayor. Tanto el Complejo Valle Chico como el rifting, ambos habrían propiciado diversos pulsos radiales, aprovechando la fracturación regional, para inyectar magma básico en un contexto de rocas encajantes arqueanas,

las cuales podrían haber causado mingling en el gabro, generando anomalías positivas de Eu. Por otra parte, las doleritas Ladrillos, se emplazarían en un contexto menos propicio al cizallamiento y mingling.

**Palabras clave:** Magnetismo, anomalía Eu positiva, codo extensional, Mesozoico, geoquímica.

## ABSTRACT

This work describes the petrology of an olivine centimetre-thick grained gabbro having subophitic texture in the Paso Real de Mansavillagra, Department of Florida. According to the apparent magnetic susceptibility map obtained from the regional magnetic field anomaly reduced to the pole, the gabbro would outcrop in a dilatant rhombic jog, located along a dextral staggered mafic dyke oriented N115°. The relative Mesozoic age of the gabbro is deductible, since the Sarandí del Yí fault does not displace it. This dyke starts from a magmatic centre located in the Valle Chico Complex and reaches the Piedra Alta Terrane. Geochemically, it is an intraplate sub-alkaline tholeiitic basalt derived from enriched MORB. It is slightly enriched in LREE and presents high relative values of Yb. It integrates a magmatic series of incompatible elements Ba-Y-Yb shared with the doleritic dikes of Cuaró and Ladrillos. Conversely to the other dykes, it possesses an unusual positive Eu anomaly. On the other hand, the nearby fine-grained Ladrillos dolerite dykes (running N107°), located to the north, although starting from the same intrusive complex, show a slight negative Eu anomaly or the absence of itself. The Valle Chico Intrusive Complex would have propagated various radial pulses, taking advantage of the regional fracturing, to inject basic magma in the context of Archean host rocks, which could have caused a mingling and generated positive Europium anomalies in the gabbro. On the other hand, the Ladrillos Dolerites of another age may be emplaced in a context devoid of mingling. Through the incompatible and Rare Earth Elements, we can discriminate at least three magmatic series: (i) Lascano, (ii) Cuaró-Ladrillos, and (iii) Nico Pérez. The Mansavillagra Gabro is grouped together with the Cuaró-Ladrillos series, although with discrepancies..

**Keywords:** Magnetism, Positive Eu anomaly, Dilatant Jog, Mesozoic, Geochemistry.

## RESUMO

Há dúvidas sobre a origem dos diferentes enxames de diques máficos no Terreno Nico Pérez, incluindo os da Província Magmática do Paraná. Um novo dique de gabro contrastante, encontrado em Paso Real de Mansavillagra, Departamento da Florida, revive o interesse em correlacionar a geoquímica desses diques,

discriminando assim províncias magmáticas. O gabro de Mansavillagra possui grão centimétrico, textura subofítica e contém plagioclásio, olivina, augita e magnetita. De acordo com o mapa de suscetibilidade magnética aparente, o gabro formaria um dique máfico não aflorante com rumo 115°. Esse só aflora no que seria um espaço rômboico extensional daquele lineamento magnético. Deduz-se uma idade mesozoica, pois a falha Sarandí del Yi não o desloca. O dique parte de um centro de emissão radial localizado no Complexo Valle Chico, que reativa a fratura onde o magma canalizou e propagou através das rochas hospedeiras arqueanas. O gabro Mansavillagra é um basalto toleítico subalcalino intraplaca, derivado do MORB enriquecido. A geoquímica comparada dos diques conhecidos no diagrama Ba-Y-Yb permitiu discriminar três séries magmáticas: (i) Lascano, (ii) Cuaró-Ladrillos e (iii) Nico Pérez. O Gabro Mansavillagra agrupa-se junto com a série magmática Cuaró-Ladrillos. Apresenta um aumento dos ETR leves e elevados valores relativos do Yb, em relação ao manto primitivo. Ao contrário dos outros, ele possui uma anomalia positiva do Eu incomum. Os diques doleríticos de Ladrillos, com rumo 107°-110°, localizam-se ligeiramente a Norte. Embora partam do mesmo complexo intrusivo, não seguem a mesma diferenciação, apresentando uma ligeira anomalia negativa do Eu. A contaminação no Gabro Mansavillagra pode ter gerado a anomalia positiva do Eu, em um ambiente mais propício a fusão parcial e em um tempo diferente dos demais

**Palavras-chave:** Magnetismo, anomalia Eu positiva, jog extensional, Mesozoico, geoquímica

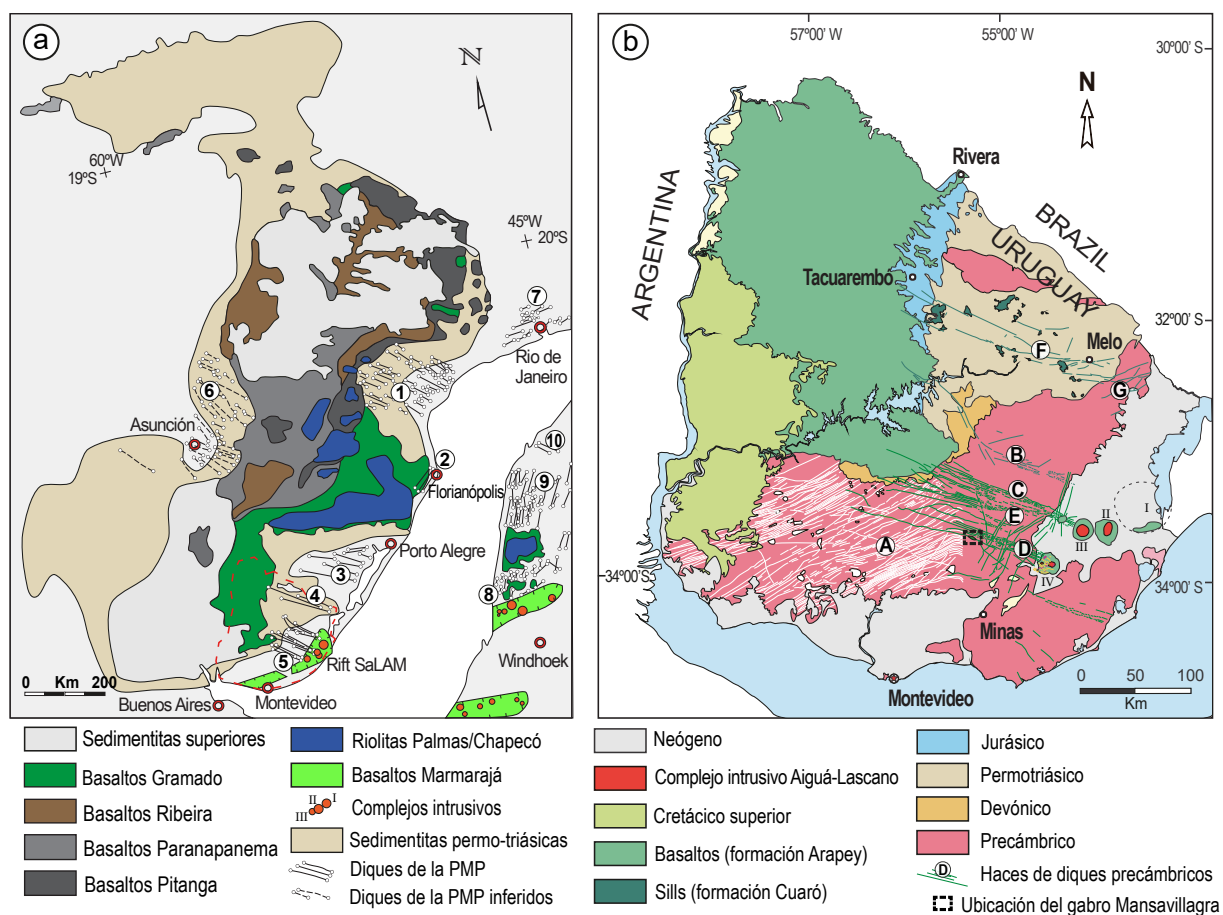
## INTRODUCCIÓN

El Gabro Mansavillagra es una roca filoniana descubierta en el Paso Real de Mansavillagra, Florida (Lat. 33°44'00" S; Long. 55°23'22" W). Es de grano muy grueso, textura subofítica, está compuesto por plagioclase, olivino, augita y opacos, y tiene un contacto de enfriamiento rápido con el encajante granítico (Masquelín *et al.*, 2019).

Los enjambres de diques máficos son verdaderos mojones estratigráficos de las regiones precámbricas porque representan las raíces de grandes provincias magmáticas de corta duración ya erosionadas (Ernst y Buchan, 1997). En lo que respecta a los diques máficos del Este no cratónico de Uruguay, estos fueron estudiados desde al menos dos décadas (Mazzucchelli *et al.*, 1995; Rivalenti *et al.*, 1995; Muzio, 2004;

Masquelín *et al.*, 2009; Muzio *et al.*, 2017). Existen dudas respecto de la pertenencia a provincias magmáticas de algunos diques, ya sea de la Provincia Magmática Paraná (PMP; Peate, 1997), ya de provincias magmáticas más antiguas. Los enjambres de diques máficos mesozoicos de la PMP (Fig. 1a) tienen edades  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  entre ca. 127 a 131 Ma (Stewart *et al.*, 1996).

En Uruguay, se distinguen los diques en el Este no cratónico (verdes) de los diques paleoproterozoicos del Terreno Piedra Alta, en el Oeste (blancos) (Fig. 1b). Muchos diques del sureste (B, C, D, E) parecen asociarse a los complejos intrusivos emplazados en el rift Aiguá-Merín (Cernuschi *et al.*, 2015). Los enjambres B, C y D tienen rumbo promedio  $110^\circ$ , mientras que son cortados por el enjambre Polanco (E), de rumbo  $020^\circ\text{--}040^\circ$  (Silva Lara *et al.*, 2016). Además, se reconocen algunos diques de rumbo  $130^\circ$  aislados.



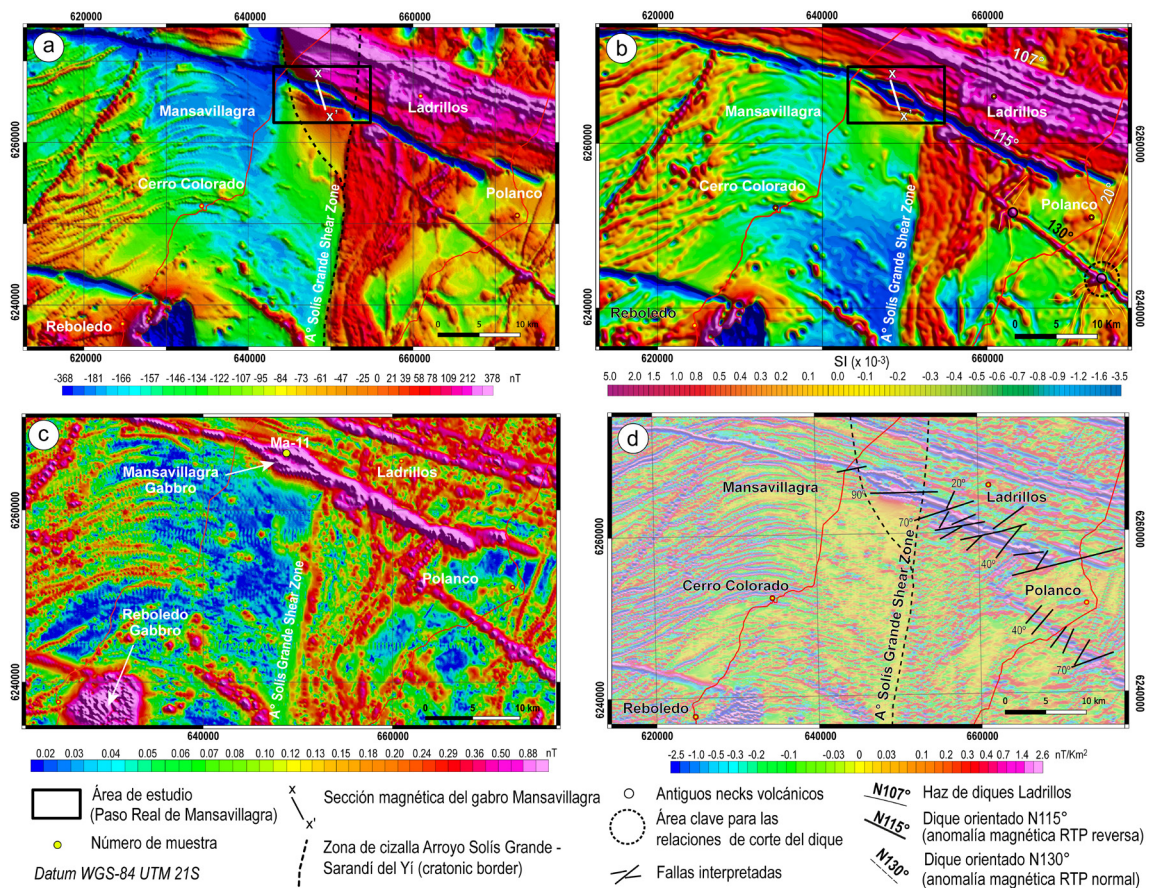
**FIGURA 1.** Ubicación de los enjambres de diques de la PMP: a) (1) Ponta Grossa, (2) Florianópolis, (3) Encruzilhada do Sul, (4) Melo, (5) Treinta y Tres - Nico Pérez - Ladrillos, (6) Paraguay Oriental, (7) Río de Janeiro, (8) Henjes Bay-Outjo, (9) Etendeka, (10) Möwe Bay. b) Diques máficos de Uruguay: (A) Florida (Paleoproterozoico), y enjambres fanerozoicos de (B) Treinta y Tres, (C) Nico Pérez, (D) Ladrillos, (E) Polanco, (F) Melo y (G) Corral de Piedra. Recuadro negro: Gabro Mansavillagra.

**FIGURE 1.** Location of the PMP dyke swarms: a) (1) Ponta Grossa, (2) Florianópolis, (3) Encruzilhada do Sul, (4) Melo, (5) Treinta y Tres - Nico Pérez - Ladrillos, (6) Eastern Paraguay, (7) Rio de Janeiro, (8) Henjes Bay-Outjo, (9) Etendeka, (10) Möwe Bay. b) The mafic dykes of Uruguay are: (A) Florida (Paleoproterozoic), and Phanerozoic swarms of (B) Treinta y Tres, (C) Nico Pérez, (D) Ladrillos, (E) Polanco, (F) Melo and (G) Corral de Piedra. Black dashed box: Mansavillagra Gabbro.



La modelización de los datos aeromagnéticos del sur de Uruguay permitió caracterizar los lineamientos magnéticos ONO-ESE como diques máficos (Núñez Demarco *et al.*, 2020). El lineamiento magnético de rumbo 115° muestra allí una estructura asimétrica de extensión oblicua, de cizallamiento ligeramente transpresivo (Fig. 2), interpretada como un codo extensional rómbico, situado en la intersección del dique con la zona de cizalla Sarandí del Yí (Masquelin *et al.*, 2019). El Gabro Mansavillagra aflora en ese lugar.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la petrología del gabro Mansavillagra, con la ayuda de la litogeoquímica, la modelización estructural de los datos magnéticos (terrestres y aéreos) y la información de campo. Además, nos enfocamos en discriminar las series magmáticas del Este no cratónico de Uruguay y su ambiente geotectónico, a través de una correlación geoquímica entre todos los diques máficos, incluyendo algunos con edades Sm-Nd pre- mesozoicas, que podrían utilizar las mismas direcciones estructurales.



**FIGURA 2.** Mapas magnéticos de: (a) Campo magnético total anómalo RTP, (b) Susceptibilidad magnética aparente RTP; diques de Ladrillos (N107°): anomalía positiva; dique de Mansavillagra (N115°): anomalía negativa; Recuadro negro: área de exposición. (c) Señal analítica indicando idénticas fuentes magnéticas. (d) Segunda derivada (dy2) del campo anómalo RTP mostrando leves desplazamientos por fallas (N40° y N70°) cortando el dique Mansavillagra. X-X': perfil micromagnetométrico.

**FIGURE 2.** Mapas magnéticos de: (a) Campo magnético total anómalo RTP, (b) Susceptibilidad magnética aparente RTP; diques de Ladrillos (N107°): anomalía positiva; dique de Mansavillagra (N115°): anomalía negativa; Recuadro negro: área de exposición. (c) Señal analítica indicando idénticas fuentes magnéticas. (d) Segunda derivada (dy2) del campo anómalo RTP mostrando leves desplazamientos por fallas (N40° y N70°) cortando el dique Mansavillagra. X-X': perfil micromagnetométrico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron láminas delgadas en el Laboratorio de Geología de la Facultad de Ciencias (UdelaR), para ser descritas con el microscopio petrográfico Nikon del Instituto de Ciencias Geológicas. Se obtuvieron 9 análisis litogeoquímicos, en el laboratorio de ACME Bureau Veritas (Vancouver, Canadá), incluyendo elementos mayores (% en peso), trazas y ETR (ppm). Algunos elementos fueron obtenidos por medio de espectrometría de fluorescencia de rayos X, y otros por fusión ICP. El tratamiento de los datos fue por medio del programa GCDkit (Janoušek *et al.*, 2006). La interpretación petrológica se basó en la colecta de una cantidad no exhaustiva de datos geoquímicos publicados en trabajos vinculados a la PMP y otros diques (Tabla 1). Se puso énfasis en comparar todas las rocas ígneas básicas (basaltos, doleritas y gabros), y, en particular, todos los diques máficos.

**TABLA 1.** Datos de trabajos previos y propios utilizados para correlacionar el magmatismo mesozoico.

*TABLE 1. Previous and own work data used to correlate Mesozoic magmatism.*

| Trabajo                           | Sector                                   | Roca analizada                  | muestras |
|-----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------|
| Cernuschi <i>et al.</i> (2015)    | Lascano y Valle de Aiguá                 | basaltos<br>gabros              | 7<br>5   |
| Florisbal <i>et al.</i> (2014)    | Florianópolis                            | doleritas                       | 3        |
| Girardi <i>et al.</i> (1996)      | Treinta y Tres                           | doleritas                       | 15       |
| Gómez Rifas (1996)                | Marmarajá (Valle Fuentes)                | basaltos                        | 6        |
| Hawkesworth (1992)                | Ponta Grossa                             | basaltos alcalinos<br>doleritas | 8<br>4   |
| Silva Lara <i>et al.</i> (2016)   | Los Ladrillos y Polanco                  | doleritas                       | 7        |
| Lustrino <i>et al.</i> (2005)     | Lascano y Valle Chico                    | basalto                         | 1        |
| Masquelín <i>et al.</i> (2019)    | Paso Real de Mansavillagra               | gabros                          | 9        |
| Mazzucchelli <i>et al.</i> (1995) | Enjambres de Nico Pérez y Treinta y Tres | doleritas                       | 9        |
| Muzio <i>et al.</i> (2012)        | Enjambre de Melo                         | doleritas                       | 24       |
| Piccirillo <i>et al.</i> (1990)   | Ponta Grossa                             | doleritas                       | 20       |
| Rivalenti <i>et al.</i> (1995)    | Diques de Nico Pérez                     | doleritas                       | 7        |
| Turner <i>et al.</i> (1999)       | Marmarajá (Valle Fuentes)                | basaltos                        | 20       |

## DIQUES MÁFICOS DEL ESTE NO CRATÓNICO DE URUGUAY

El magmatismo mesozoico de Uruguay puede subdividirse en tres unidades principales: (i) magmatismo efusivo e hipoabisal de la PMP (Muzio *et al.*, 2017), (ii) magmatismo del rift aulacógeno “Santa Lucía - Aiguá - Merín” (SaLAM; Rossello, 1999) y (iii) complejos intrusivos alcalinos de Valle Chico-Lascano-San Miguel (Cernuschi *et al.*, 2015). El primero hospeda basaltos y basalto-andesitas toleíticos tanto de bajo como de alto TiO<sub>2</sub> (>2%) (Ernesto *et al.*, 1999; Muzio *et al.*, 2012). Los diques de Ponta Grossa (1) y Florianópolis (2)

son cercanos a los basaltos de la PMP, dominando los de alto Ti (Bellieni *et al.*, 1984; Piccirillo *et al.*, 1990; Hawkesworth *et al.*, 1992). Los diques de Florianópolis tienen rumbo 160°-020° (Floribal *et al.*, 2014), al igual que los diques namibianos de Henjes Bay-Outjo (8), Skeleton Coast (9) y Möwe Bay (10) (Keiding *et al.*, 2013; Will *et al.*, 2016; McMaster *et al.*, 2019), también reconocidos en Polanco (E) (Silva Lara *et al.*, 2016).

En el Este de Uruguay, el mapa geológico (Fig. 1b) muestra cuatro enjambres de diques de rumbos 100°-120°, con un abanico convergiendo hacia sus respectivos centros intrusivos: (i) los diques de Melo (Fm Cuaró), cortando la Cuenca de Paraná, (ii) el enjambre de diques Treinta y Tres (B), vinculado al complejo intrusivo San Miguel, (iii) el enjambre de diques Nico Pérez (C), partiendo del complejo Lascano oeste, y (iv) el enjambre Ladrillos (D), conectando al complejo Valle Chico con el poblado Los Ladrillos (Lat. 33°44'12"S; Long. 55°15'43"O). Todos se extienden hasta dentro del Terreno Piedra Alta (TPA). Rivalenti *et al.* (1995) colocaron los diques de Nico Pérez en un rumbo dominante 90°-110°, confirmando las mismas direcciones dadas por la magnetometría para este enjambre.

El magmatismo mesozoico del Este de Uruguay puede ser separado en, al menos, dos series magmáticas correspondientes a los dos principales sitios geotectónicos en presencia. Estos corresponden (i) al magmatismo intraplaca (OIB) de los complejos intrusivos alcalinos, y (ii) a toleítas de fondo oceánico (MORB) transicionales, hasta (iii) una serie definida como intermedia (Muzio *et al.*, 2012). La petrología de los diques de Melo y San Gregorio (B, F) fue estudiada en detalle (Scaglia *et al.*, 2010; Muzio *et al.*, 2012). Los diques de Corral de Piedra (G) comenzaron a ser estudiados más recientemente (Viera Honegger y Peel, 2020). En los primeros, predominan los de bajo Ti, aunque pueden coexistir ambos (Scaglia *et al.*, 2021). Hay variaciones en elementos traza incompatibles (Sr, Zr e Y) y relaciones Ti/Y, y Ti/Zr, inferiores a las que suelen corresponder para basaltos de alto Ti. El comportamiento de elementos traza (alto Ti/Nb, bajo Ti/Y, anomalías negativas de Nb normalizadas a manto primitivo) indica cierto grado de contaminación por corteza o fuente litosférica más profunda (Muzio *et al.*, 2017). Los diques de Melo presentan un fraccionamiento de ETR (normalizado a condrita), de débil a fuerte. Muestra típicas anomalías negativas de Eu, debido a cristalización fraccionada de olivino y piroxeno. Los más evolucionados también indican fraccionamiento producto de la cristalización de plagioclasa, con aumento de ETR livianos (40-70). Los patrones ETR menos diferenciados en ETR livianos (más chatos), dan anomalías positivas de Yb.

Por otra parte, los enjambres de Nico Pérez y Treinta y Tres (Mazzucchelli *et al.*, 1995; Rivalenti *et al.*, 1995) tienen un nivel de conocimiento geoquímico e isotópico más pobre. Los diques de Nico Pérez son de bajo

TiO<sub>2</sub> (< 1,8 %) y presentan Zr/Nb bastante elevado (> 20). Por último, los diques máficos Ladrillos (D) podrían provenir del mismo magma parental que los de Nico Pérez y Treinta y Tres (Silva Lara *et al.*, 2016).

Para la correlación petrológica de diques máficos, se seleccionaron análisis geoquímicos de rocas básicas extraídos de varios trabajos. Los datos geoquímicos del gabro olivínico Mansavillagra aquí obtenidos se incluyeron en la lista (Tabla 1).

En cuanto a la edad absoluta de los diques máficos del Este no cratónico de Uruguay, ésta fue escasamente estudiada. Hasta ahora, las únicas edades <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar en diques fueron establecidas por Féraud *et al.* (1999), en la Fm Cuaró (sill de  $132,1 \pm 1,1$  y dique de  $131,6 \pm 1,3$ ), siendo su filiación mesozoica relacionada con los derrames basálticos de Paraná. Otra edad <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar se obtuvo en un dique del enjambre Nico Pérez, que dio  $157,6 \pm 3$  Ma (Lossada *et al.*, 2014), siendo esta última, confirmada por paleomagnetismo y un paleopolo precretácico (Cervantes-Solano *et al.*, 2017). Por otra parte, las edades K-Ar de diques rumbo 110° dieron resultados ambiguos, como es el caso de edades neoproterozoicas y paleozoicas (Rivalenti *et al.*, 1995; González *et al.*, 2004). Basándose en los datos isotópicos Rb-Sr y <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd, Mazzucchelli *et al.* (1995) obtuvieron una isócrona Rb-Sr de ca.  $665 \pm 203$  Ma, interpretada como la edad magmática de un dique del enjambre Nico Pérez. La edad K-Ar en biotita previa de  $581 \pm 13$  Ma del chilled-margin de ese dique (Rivalenti *et al.*, 1995) fue reinterpretada como siendo heredada de la roca encajante (Lossada *et al.*, 2014). Estos diques cortan transversalmente la granodiorita Zapicán, datada por U-Pb en circón en  $610,4 \pm 2,5$  Ma (Oriolo *et al.*, 2016), por lo que toda edad magmática de un dique anterior a este valor es improbable. Además, los diques Nico Pérez (C) atravesaron las grandes zonas de cizalla transcurrentes precámbricas, sin inflexión ni fallamiento lateral. Estas funcionaron (al menos) hasta el final del Neoproterozoico.

## RESULTADOS

### 1. Contexto estructural

La aplicación de diversos filtros a partir de la anomalía de campo magnético reducido al polo permitió la identificación de lineamientos magnéticos alargados ONO-ESE, cortando las principales discontinuidades del basamento precámbrico. Estos se interpretaron como enjambres de diques máficos de rumbo 107°-110°, así como diques singulares de rumbo 130° (Fig. 1b). En el sector de afloramiento del gabro Mansavillagra (Fig. 2a), los lineamientos de máxima susceptibilidad magnética fueron interpretados como diques máficos con una posible vinculación a los complejos intrusivos (Valle Chico-Lascano-San Miguel). El tilt magnético regional del



dique Mansavillagra es idéntico al de la anomalía levantada en suelo. Su susceptibilidad magnética medida en campo está entre 4 y 12 x 10<sup>-3</sup> SI, mientras que el borde enfriado es de 1 x 10<sup>-3</sup> SI, y el granito encajante, de 0,01 x 10<sup>-3</sup> SI.

Los diques máficos están asociados indirectamente a un conjunto de rocas volcánicas dentro y fuera del rift SaLAM (valles de Aiguá, Fuentes, Arequita, Tapes Chico, Los Ladrillos, etc.). Pese a la coherencia en el rumbo de los lineamientos, observada en el mapa de susceptibilidad magnética aparente, se desconoce si esta deriva de la herencia estructural proveniente del basamento precámbrico o si es producto del nuevo campo de esfuerzos condicionado por el emplazamiento de los centros plutónicos emisores.

La interpretación propuesta (Fig. 2b) sugiere que el dique Mansavillagra (rumbo 115°) sería escalonado, dextral y neutro (sin cizalla), con un codo extensional del lado del Terreno Piedra Alta, y cortaría al enjambre Los Ladrillos (rumbo 107°). Un filón alimentador no aflorante (rumbo 130°) pasando por Polanco de Ibargoyen (Lat. 33°53'50" S; Long. 55°9'57" W), y coalesciendo con el primero. Los diques de Polanco (rumbo 020°-040°) sugieren un abanico "en araña", convergiendo hacia un neck volcánico sobre ese dique 130° (Lat. 33°56'4" S, Long. 55°7'40" W). Podría vincularse a las raíces profundas de volcanes ya desmantelados. Restos de basaltos amigdaloides aflorantes en las cercanías corroboran la existencia remota de un magmatismo efusivo asociado (Lat. 33°44'49" S; Long. 55°15'00" W).

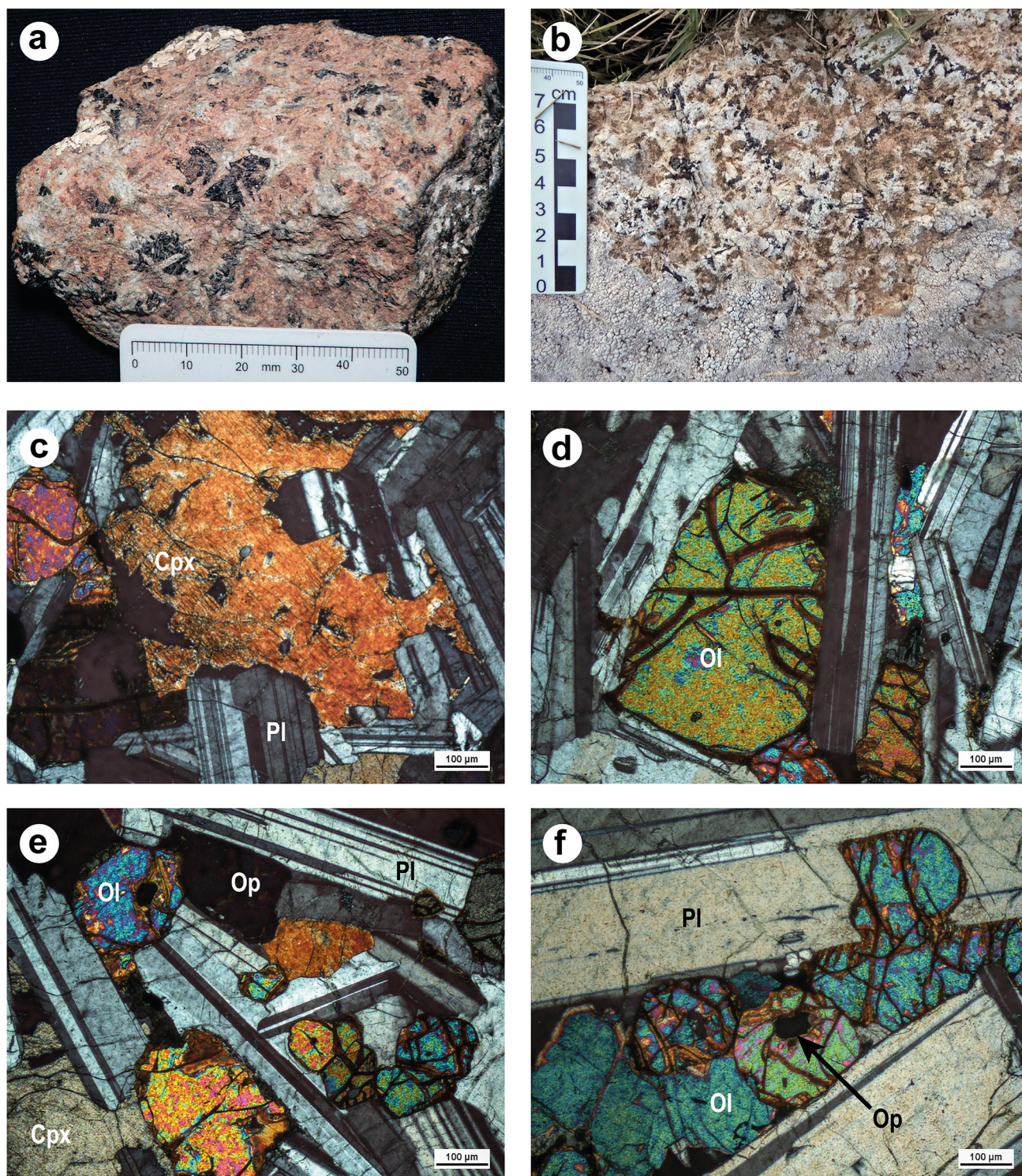
## 2. Petrología

El gabro Mansavillagra aparece con una textura regular, grano centimétrico, y una distribución esporádica glomeroporfírica de los piroxenos (Fig. 3a, b). La roca presenta una textura subofítica característica, en la cual las plagioclasas rodean en forma triangular a los piroxenos y olivinos y también aparecen en bordes de intercrecimiento entre piroxeno y plagioclase (Fig. 3c-f). El piroxeno es principalmente augita (Fig. 3c). El olivino aparece con sus fracturas irregulares, en granos de tamaño milimétrico (Fig. 3d-e) y en agregados intersticiales (Fig. 3f). La plagioclase es automorfa y muy cálcica (An70). Se observan opacos en granos subautomorfos intersticiales.

Los nuevos análisis litogeoquímicos del gabro Mansavillagra (Tabla 2) permitieron elaborar distintos diagramas de caracterización de serie magmática, ambiente geotectónico y patrón de Tierras Raras (ETR), correlacionados con datos de los demás diques (Tabla 1).

El diagrama AFM muestra la afinidad general toleítica de casi todos los cuerpos magmáticos hipoabisales





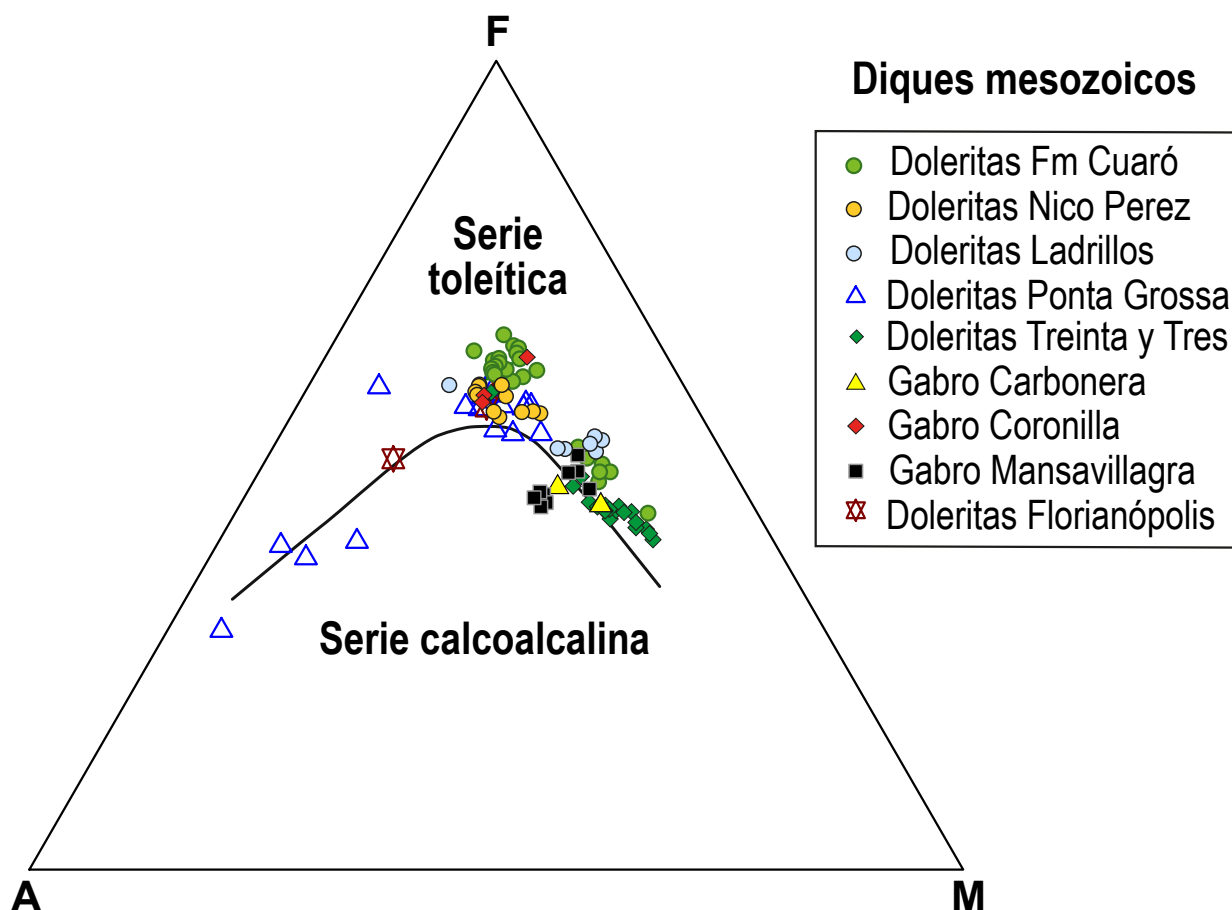
**FIGURA 3.** Petrografía del gabro olivínico Mansavillagra: a) Muestra de mano mostrando una asociación glomeroporfírica de augita, en matriz subofítica, donde la plagioclasa automorfa corta los agregados; b) Gabro en afloramiento (Ma-11); c) Clinopiroxeno intercrecido con plagioclasa (An70); d) Olivino intersticial entre plagioclases; e) Textura subofítica con plagioclasa y olivino; f) Olivino y plagioclasa (An80); de c) a f) imágenes de microscopio en luz analizada.

**FIGURE 3.** Petrography of the Mansavillagra olivine gabbro: a) Hand sample showing a glomeroporphyritic association of augite, in subophitic matrix, where automorphic plagioclase cuts the aggregates; b) Gabbro in the outcrop (Ma-11); c) Clinopyroxene intergrown with plagioclase (An70); d) interstitial olivine between plagioclases; e) Subophitic texture with plagioclase and olivine; f) Olivine and plagioclase (An80); from c) to f) microscope images in analyzed light.



**TABLA 2.** Datos geoquímicos del Gabro Mansavillagra; análisis del Laboratorio Bureau Veritas.  
**TABLE 2.** Geochemical data of the Mansavillagra Gabbro; Bureau Veritas Laboratory analyses.

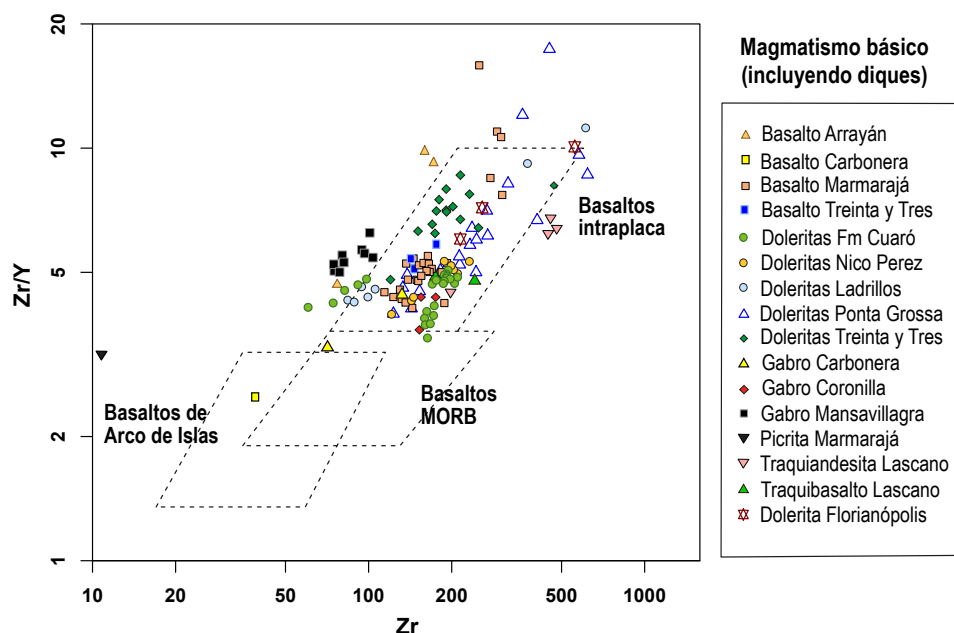
| Muestra                        | Ma-9a | Ma-9b | Ma-9c | Ma-9e | Ma-9f | Ma-11 | Ma-12a | Ma-12b | Ma-12c |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 49.28 | 49.19 | 48.84 | 48.94 | 49.45 | 47.19 | 47.76  | 47.51  | 47.24  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.38 | 20.25 | 20.27 | 20.14 | 19.78 | 18.45 | 18.48  | 18.13  | 17.20  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.18  | 8.27  | 8.35  | 8.13  | 8.20  | 11.30 | 11.21  | 11.74  | 12.73  |
| MgO                            | 5.15  | 5.16  | 5.21  | 5.21  | 5.28  | 7.86  | 6.79   | 7.29   | 7.44   |
| CaO                            | 11.50 | 11.63 | 11.59 | 11.74 | 11.63 | 9.43  | 10.05  | 9.56   | 9.64   |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.02  | 2.94  | 2.99  | 2.98  | 3.00  | 2.82  | 2.92   | 2.89   | 2.79   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.59  | 0.59  | 0.59  | 0.60  | 0.61  | 0.72  | 0.72   | 0.72   | 0.71   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.80  | 0.87  | 0.92  | 0.93  | 0.83  | 1.11  | 1.23   | 1.13   | 1.25   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.12  | 0.12  | 0.18  | 0.14  | 0.13  | 0.12  | 0.14   | 0.13   | 0.18   |
| MnO                            | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.15  | 0.15   | 0.16   | 0.18   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.04  | 0.04   | 0.04   | 0.04   |
| LOI                            | 0.60  | 0.60  | 0.70  | 0.80  | 0.70  | 0.50  | 0.20   | 0.40   | 0.30   |
| Suma                           | 99.81 | 99.81 | 99.81 | 99.81 | 99.80 | 99.76 | 99.77  | 99.76  | 99.76  |
| Ba                             | 271   | 272   | 270   | 270   | 269   | 295   | 311    | 309    | 311    |
| Ni                             | 66    | 70    | 72    | 70    | 71    | 164   | 132    | 144    | 146    |
| Sc                             | 27    | 28    | 27    | 29    | 30    | 20    | 25     | 23     | 26     |
| Be                             | 0.08  | 0.08  | 0.08  | 0.08  | 0.08  | 0.08  | 0.08   | 0.08   | 1.00   |
| Co                             | 34.4  | 33.6  | 33.5  | 32.9  | 33.5  | 54.7  | 48.1   | 52.2   | 54.2   |
| Cs                             | 0.04  | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 0.20  | 0.20  | 0.20   | 0.10   | 0.10   |
| Ga                             | 19    | 18.4  | 18.3  | 17.7  | 17.4  | 15.8  | 16.8   | 15.8   | 15.7   |
| Hf                             | 1.7   | 1.9   | 2.0   | 2.0   | 2.0   | 2.4   | 2.5    | 2.4    | 2.6    |
| Nb                             | 7.9   | 7.8   | 7.8   | 8.3   | 7.7   | 10.7  | 10.5   | 10.5   | 10.9   |
| Rb                             | 10.2  | 10.2  | 10.3  | 10.6  | 10.8  | 14.4  | 13.9   | 13.6   | 13.6   |
| Sr                             | 366.2 | 353.9 | 360   | 361.4 | 355.4 | 338.1 | 321.2  | 332.4  | 312.7  |
| Ta                             | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.5   | 0.4   | 0.8   | 0.7    | 0.6    | 0.7    |
| Th                             | 1.0   | 0.9   | 1.0   | 1.0   | 0.9   | 1.2   | 1.1    | 1.2    | 1.2    |
| U                              | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.2    | 0.2    | 0.3    |
| V                              | 138   | 156   | 153   | 146   | 162   | 122   | 168    | 152    | 169    |
| W                              | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4    | 0.4    | 0.4    |
| Zr                             | 75.1  | 74.8  | 77.6  | 80.3  | 81.4  | 101   | 95.8   | 96.7   | 103.7  |
| Y                              | 14.9  | 14.3  | 15.5  | 14.6  | 15.4  | 16.2  | 17.1   | 17.4   | 19.1   |
| La                             | 10.5  | 10.2  | 10.9  | 10.2  | 10.2  | 11.6  | 11.9   | 11.8   | 12.8   |
| Ce                             | 19.6  | 19.4  | 21.6  | 20.4  | 20.9  | 22.6  | 24     | 22.7   | 26     |
| Pr                             | 2.54  | 2.45  | 2.76  | 2.59  | 2.57  | 2.85  | 2.98   | 2.91   | 3.3    |
| Nd                             | 10.6  | 10.1  | 11.4  | 10.4  | 10.9  | 12.3  | 12.9   | 12.3   | 13.9   |
| Sm                             | 2.27  | 2.31  | 2.62  | 2.45  | 2.53  | 2.62  | 2.84   | 2.72   | 3.06   |
| Eu                             | 1.19  | 1.17  | 1.16  | 1.16  | 1.19  | 1.2   | 1.33   | 1.31   | 1.26   |
| Gd                             | 2.65  | 2.7   | 2.85  | 2.75  | 2.64  | 2.79  | 3.03   | 2.97   | 3.54   |
| Tb                             | 0.42  | 0.42  | 0.46  | 0.45  | 0.46  | 0.45  | 0.51   | 0.48   | 0.56   |
| Dy                             | 2.58  | 2.7   | 2.75  | 2.84  | 2.69  | 2.8   | 3.05   | 3.15   | 3.38   |
| Ho                             | 0.56  | 0.53  | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.59  | 0.66   | 0.64   | 0.73   |
| Er                             | 1.63  | 1.63  | 1.74  | 1.69  | 1.72  | 1.78  | 2.00   | 2.00   | 2.20   |
| Tm                             | 0.23  | 0.24  | 0.23  | 0.23  | 0.24  | 0.26  | 0.27   | 0.28   | 0.3    |
| Yb                             | 1.48  | 1.36  | 1.57  | 1.53  | 1.57  | 1.73  | 1.86   | 1.84   | 2.06   |
| Lu                             | 0.22  | 0.23  | 0.24  | 0.24  | 0.26  | 0.27  | 0.29   | 0.28   | 0.3    |
| Mo                             | 0.4   | 0.6   | 0.7   | 0.9   | 1.2   | 1.0   | 0.9    | 0.8    | 0.9    |
| Cu                             | 50.1  | 47.0  | 54.6  | 48.7  | 48.8  | 66.8  | 62.5   | 65.7   | 76.4   |
| Pb                             | 2.0   | 2.1   | 1.6   | 0.7   | 0.8   | 0.6   | 0.7    | 0.6    | 0.5    |
| Zn                             | 37    | 34    | 34    | 33    | 32    | 57    | 51     | 56     | 63     |



**FIGURA 4.** Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971), comparativo de los diversos haces de diques máficos vinculados a la PMP, o también al magmatismo básico intrusivo en el Rift SaLAM.

**FIGURE 4.** AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971), comparison of the various bundles of mafic dykes linked to the PMP, or also to basic intrusive magmatism in the SaLAM Rift.

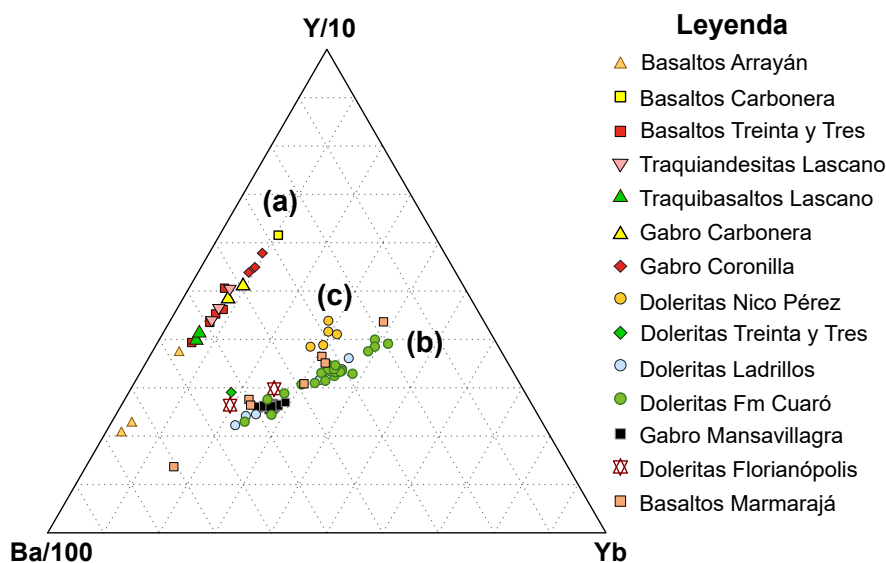
analizados de la PMP, incluyendo algunas doleritas de Ponta Grossa, más diferenciadas (Fig. 4). El Gabro Mansavillagra cae sobre la línea de separación de toleítas y rocas calcoalcalinas y parece dividirse en dos subgrupos, al igual que las doleritas de Cuaró. Para la clasificación geotectónica, se utilizó primero el diagrama de Pearce y Norry (1979) (Fig. 5). En los basaltos de intraplaca, el gabro de Mansavillagra cae fuera del recuadro WPB. Se alinea con basaltos alcalinos del tipo Arrayán (Cernuschi et al., 2015). Además, se separan dos subgrupos para las doleritas de Cuaró y Ladrillos, en alto y bajo Zr. En el opuesto, los basaltos Carbonera parecen estar asociados a un componente de subducción.



**FIGURA 5.** Diagrama de discriminación geotectónica Zr vs Zr/Y (Pearce y Norry, 1979); todas las series magmáticas presentes conforman basaltos de intraplaca a excepción de los basaltos "Carbonera".

**FIGURE 5.** Zr vs Zr/Y geotectonic discrimination diagram (Pearce and Norry, 1979); all the present magmatic series make up within-plate basalts, excepted the "Carbonera" basalts.

El diagrama triangular Ba-Y-Yb (Fig. 6) muestra la existencia de tres tendencias evolutivas rectilíneas (a, b y c) con referencia al comportamiento LILE de cristalización fraccionada, hacia un enriquecimiento en Y. Los diques de Nico Pérez se alejan de la tendencia (b), marcando su propia tendencia (c), argumento a favor de una diferencia de edad y contexto geotectónico para estos. El gabro Mansavillagra aparece ligado a la serie (b), al igual que las doleritas de Cuaró y Ladrillos.



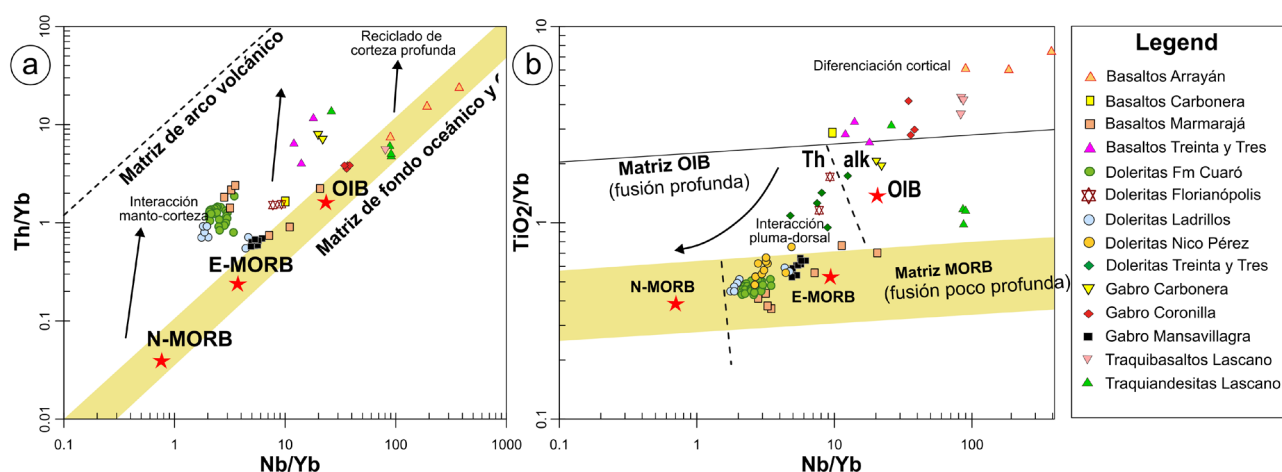
**FIGURA 6.** Discriminación de series magmáticas basada en la diferenciación de elementos traza: (a) Serie de Lascano, (b) Serie de Cuaró-Ladrillos, (c) Serie de Nico Pérez.

**FIGURE 6.** Discrimination of magmatic series based on trace elements' differentiation: (a) Lascano series, (b) Cuaró-Ladrillos series, (c) Nico Pérez series.



La relación  $\text{Ti/Yb}$  es diagnóstica de la profundidad de fusión y, por tanto, sirve para indicar la temperatura del manto y el espesor recorrido a través de la litosfera (Pearce, 2008; Fig. 7). La dispersión de los basaltos en diagonal, respecto de la banda coloreada del diagrama, fue interpretada como siendo de contexto de un margen continental con rift volcánico, lo que corrobora la situación geotectónica del rift Aiguá-Merín. El modelado de la fusión mantélica cuantifica a los indicadores  $\text{Th}$  y  $\text{Ti}$  vs  $\text{Nb}$ , para establecer temperatura del manto y espesor litosférico, respectivamente (Pearce, 2008).

El diagrama  $\text{Th/Yb}$  vs  $\text{Nb/Yb}$  (Fig. 7a) muestra que casi todos los basaltos vinculados a la PMP se encuentran fuera de la banda. Los basaltos Arrayán y parte de las traquiandesitas Lascano son del tipo isla oceánica (OIB). Los datos están subrepresentados por falta de análisis de  $\text{Th}$  en muchas de las muestras. No obstante, se definen dos series: (i) menor contaminación crustal y  $\text{Nb}$  enriquecido (gabro Mansavillagra, diques Treinta y Tres, gabro Carbonera, traquiandesitas Lascano), y (ii) mayor contaminación crustal y  $\text{Nb}$  empobrecido (incluyendo a Cuaró, Ladrillos y parte de los basaltos Marmarajá). Los basaltos tienden a empobrecerse en  $\text{Nb}$  por diferenciación, alineándose en ambas diagonales a la banda (desde los campos OIB a MORB). Se cuantificó la contaminación crustal, a partir de las variaciones de  $\text{Th}$  y  $\text{Nb}$ , por fuera de la interacción entre OIB y MORB. El diagrama  $\text{Th/Yb}$  vs  $\text{Nb/Yb}$  sirvió para discriminar entre valores de  $\text{Nb}$  bajos (N-MORB) y altos (E-MORB), así



**FIGURA 7.** Diagramas de discriminación de basaltos MORB / OIB (Pearce, 1996): a)  $\text{Nb/Yb}$  vs  $\text{Th/Yb}$  muestra la separación, paralela a la banda, de toleítas menos enriquecidas en  $\text{Nb}$  (doleritas Cuaró) de otras más enriquecidas (gabro Mansavillagra); el basalto Arrayán, de asociación MORB-OIB es el más rico en  $\text{Nb}$ ; b)  $\text{Nb/Yb}$  vs  $\text{TiO}_2/\text{Yb}$  muestra la profundidad de la fuente, enfatiza en la baja profundidad de fusión y el carácter diagonal respecto de la banda MORB, debido a la interacción entre pluma y dorsal meso-oceánica que ensancha las tasas de fusión hacia abajo para producir el gabro Mansavillagra y las doleritas de Cuaró y Nico Pérez.

**FIGURE 7.** MORB / OIB basalt discrimination diagrams (Pearce, 1996): a)  $\text{Nb/Yb}$  vs  $\text{Th/Yb}$  shows the separation, parallel to the band, of tholeiites less enriched in  $\text{Nb}$  (Cuaró dolerites) from others more enriched (Mansavillagra Gabbro); the Arrayán basalt, from the MORB-OIB association, is the  $\text{Nb}$ -richest; b)  $\text{Nb/Yb}$  vs  $\text{TiO}_2/\text{Yb}$  shows the depth of the source, emphasizes the low depth of fusion and the diagonal character with respect to the MORB band, due to the interaction between plume and mid-ocean ridge that widens the fusion rates down to produce Mansavillagra gabbro and Cuaró and Nico Pérez dolerites.

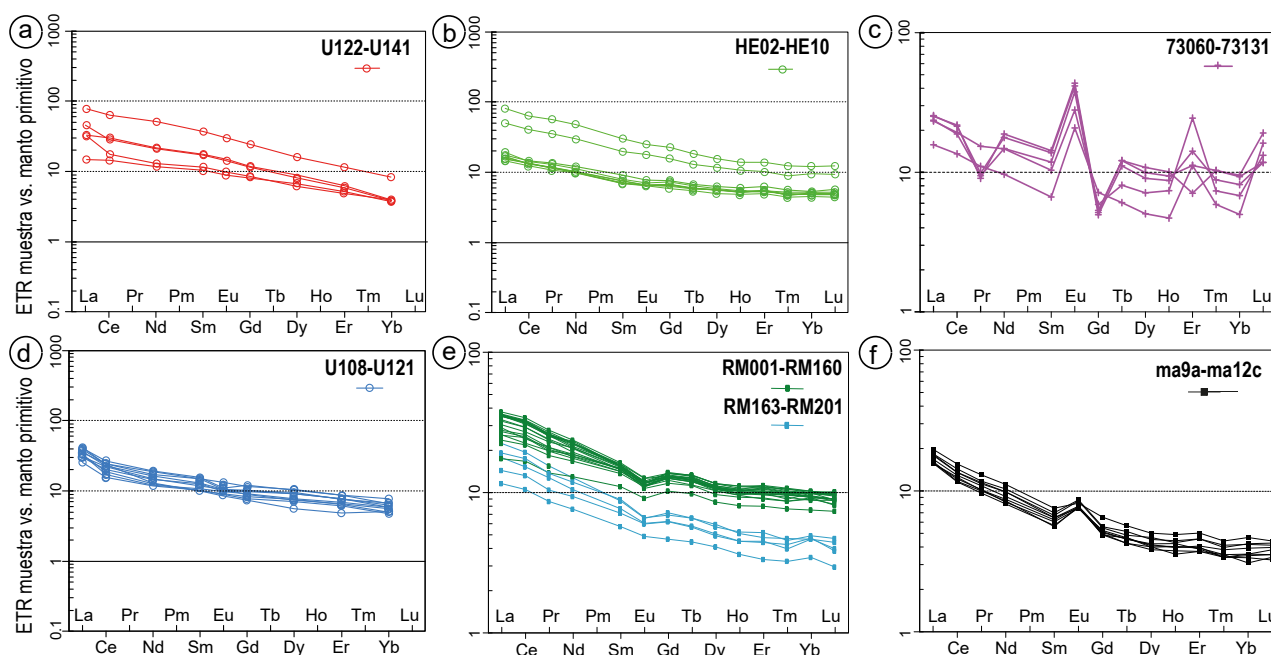
como valores Nb de afinidad OIB, situados paralelamente a la banda coloreada. Los OIB se originan por fusión más caliente, por debajo de litosfera más espesa, y generalmente presentan menor porcentaje de fusión, así como un remanente de granate residual. El gabro Mansavillagra aparece contenido en la banda, en el sector de MORB enriquecido. Mientras tanto, las doleritas de Cuaró, los basaltos Marmarajá y las doleritas Ladrillos y Polanco, con otro tipo de contaminación, se separan de la banda. Pese a esto, permanecen alineadas hacia un magma parental de tipo MORB normal (N-MORB).

En el diagrama Ti/Yb vs Nb/Yb (Fig. 7b), el gabro Mansavillagra agrupa sus datos sobre la banda, en el sector de E-MORB, junto con las doleritas Nico Pérez, Ladrillos/Polanco, Cuaró y los basaltos de Marmarajá. Todos ellos representan un magma parental de fusión superficial (corteza oceánica o continental afinada), a diferencia de las series de basaltos que cortan la banda en diagonal, las cuales provienen de fuente más profunda y/o atraviesan corteza más gruesa (basaltos Treinta y Tres, Arrayán, Coronilla y traquibasaltos de Lascano), y que están directamente asociados a la pluma mantélica. Para la distribución de las rocas básicas, ambos diagramas indican una clara interacción regional entre pluma y dorsal oceánica (PRI). Estos pueden incluir fundidos más calientes, fluyendo hacia una litosfera progresivamente más adelgazada.

Por último, el diagrama de ETR normalizado según el modelo de manto primitivo (McDonough y Sun, 1995), para diques máficos (Fig. 8), muestra patrones de ETR chatos, sin demasiada diferenciación entre los diques de Treinta y Tres y Nico Pérez. Los diques doleríticos de Melo (Formación Cuaró) confirman los patrones de ETR mencionados en antecedentes; a este patrón se suman los diques Ladrillos, que evidencian un ligero enriquecimiento de ETR livianas y una ligera anomalía negativa de Eu. Finalmente, el patrón del gabro Mansavillagra es diferenciado, con un leve enriquecimiento en ETR livianos y una anomalía Eu positiva. Algunas muestras también presentan una leve anomalía de Yb

## DISCUSIÓN

La orientación de los diques no determina su edad pero sí está condicionada por la orientación de esfuerzos diferenciales propios de eventos tectónicos particulares. Si bien en los mismos rumbos 110°-120°, podríamos tener diques neoproterozoicos y juró-cretácicos, la aerogeofísica evidenció que los enjambres de diques del centro-sur del Terreno Nico Pérez se asocian mayoritariamente a centros plutono-volcánicos mesozoicos conocidos del rift Aiguá-Merín, garantizando las mismas edades para muchos de ellos. No obstante, aun estando en idénticas orientaciones, algunos diques podrían contener rocas basálticas provenientes de otras series magmáticas inyectadas a lo largo del tiempo remoto.



**FIGURA 8.** Correlación de Elementos Tierras Raras (ETR) normalizados según el modelo de manto primitivo (McDonough y Sun, 1995). Las doleritas de Treinta y Tres y Ladrillos muestran patrones chatos, con escasa o nula anomalía de Eu. El patrón ETR del gabro Coronilla está alterado. Las doleritas de Cuaró y Nico Pérez presentan enriquecimiento de ETR livianos y una anomalía de Eu negativa suave e Yb positiva. El gabro Mansavillagra muestra enriquecimiento de ETR livianos pero una anomalía de Eu positiva inusual.

**FIGURE 8.** Rare Earth Elements (REE) normalized patterns correlation according to primitive mantle model (McDonough and Sun, 1995). The Treinta y Tres and Ladrillos dolerites show flat patterns, with little or no Eu anomaly. The Coronilla gabbro REE pattern is altered. The Cuaró and Nico Pérez dolerites show LREE enrichment and a mild negative Eu and positive Yb anomaly. The Mansavillagra gabbro shows LREE enrichment but an unusual positive Eu anomaly.

Considerando toda la evidencia (edades K-Ar), la presencia de diques neoproterozoicos no debería ser descartada porque tanto los diques de Nico Pérez (Rivalenti *et al.*, 1995) como los de la cantera CUCPSA en Minas (González *et al.*, 2004) constituyen una o más series basálticas diferentes desde el punto de vista de los elementos incompatibles (Fig. 6). Es posible que la contaminación geoquímica e isotópica sea la fuente de discrepancia para las nuevas edades K-Ar jurásicas obtenidas (Lossada *et al.*, 2014). La herencia isotópica no es un hecho nuevo desde que mostró dificultades para interpretar la edad Neoproterozoica de los diques de Nico Pérez por el método K-Ar (Mazzucchelli *et al.*, 1995). La correlación geoquímica de elementos traza y Tierras Raras entre los diversos enjambres de diques muestra notables diferencias en los diagramas de diferenciación. Pese a ello, la cantidad de muestras es aún insuficiente para caracterizar con claridad a una serie de Nico Pérez y establecer un contexto geotectónico diferente al de los demás diques.

Por otra parte, el dique Mansavillagra es diferente de los diques contiguos (Ladrillos y Polanco, Cuaró), tanto en orientación, magnetismo y petrología. Sin embargo, existen similitudes en su geoquímica toleítica sub-alcalina. Pero, su llamativa anomalía positiva de Eu difiere del patrón ETR chato habitual, o con leve anomalía

negativa, observado en los demás enjambres. Dicha anomalía positiva inusual de Eu sugiere que existe una diferencia sustancial en la evolución petrogenética cortical del gabro Mansavillagra. Mazzucchelli *et al.* (1992) investigaron los procesos para el enriquecimiento de Eu en el magma. Para estos autores, el más obvio era la reabsorción a través de nuevos aportes de basalto sobre acumulaciones anteriores ricas en plagioclasa durante un proceso de reciclaje de cámara magmática, pero este mecanismo produciría una fuerte disminución de ETR en el fundido residual. Una alternativa sería la mezcla de un manto fundido con fundidos anatéticos corticales heredando una anomalía de Eu positiva de la roca encajante. Una anomalía Eu positiva suele ser común en rocas granulíticas de la corteza profunda (Rudnick y Presper, 1990) como contraparte de la anomalía general negativa de Eu de la corteza superior (Taylor y McLennan, 1985). El basamento hospedante del dique máfico estudiado podría derivar de la fusión de rocas en facies granulita con herencia isotópica arqueana, existentes en la profundidad del Bloque Cerro Chato (Masquelin *et al.*, 2021). Por otra parte, Möller y Muecke (1984) mostraron que masas fundidas altamente polimerizadas derivadas de la anatexis avanzada de granulitas son capaces de retener Eu<sup>2+</sup> en complejos dentro de aluminosilicatos, pudiendo constituirse en una fuente de Eu que explique la anomalía positiva.

## CONCLUSIONES

El gabro mesozoico Mansavillagra está ligeramente cortado por fallas reactivadas en el Meso-Cenozoico. El dique no aflora salvo en un sitio dilatante rómbico que caracteriza tendencia a un escalonamiento sigmoide destal o en un relay transpresivo a neutro. Su funcionamiento estaría relacionado con una determinada etapa en el emplazamiento del Complejo Valle Chico. Su magmatismo toleítico de una fuente /E-MORB indica una posible relación con los diques Cuaró-Ladrillos, también provenientes de manto enriquecido, aunque el enriquecimiento en incompatibles es mayor en el Gabro Mansavillagra. Además, la presencia de una anomalía positiva de Eu contrasta claramente con el patrón ETR del resto de los diques de Cuaró y Ladrillos, así como el resto de las toleitas no diferenciadas de esta región.

## AGRADECIMIENTOS

*Este trabajo está en el marco del proyecto internacional Conicyt-2017 (ECOS-Sud U17U01). Agradecemos a DINAMIGE por compartir los datos geofísicos aeroportados. Agradecemos a PEDECIBA Geociencias por la adquisición de magnetómetros, a CSIC por el proyecto PAIE (Hernán Silva) y a Fac. de Ciencias - UdeLaR por el apoyo logístico.*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L.S., Melfi, A.J., Piccirillo, E.M., Nardy, A.J.R., Roisenberg, A., 1984. High- and low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Paraná Plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 150(3), 273-306.
- Cernuschi, F., Dilles, J.H., Kent, A.J.R., Schröder, 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(2), 837-857.
- Cervantes-Solano, M., Sánchez Bettucci, L., Gogorza, C., Goguitchaichvili, A., Morales-Contreras, J.J., Rapalini, A., 2017. Nuevo estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en el enjambre de diques básicos de Nico Pérez - Zapicán, Uruguay. En: *Latin-Mag Letters*, PM01. Proceedings, spec. issue 7, 1-6. Juriquilla, Querétaro, México.
- Ernesto, M., Raposo, M.I.B., Marques, L.S., Renne, P.R., Diogo, L. A., De Min, A., 1999. Paleomagnetism, geochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *Journal of Geodynamics* 28(4-5), 321-340.
- Ernst, R.E., Buchan, K.L., 1997. Giant radiating dyke swarms: their use in identifying pre-Mesozoic large igneous provinces and mantle plumes. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union* 100, 297- 334.
- Féraud, G., Bertrand, H., Martinez, M., Ures, C., Schipilov, A., Bossi, J., 1999. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age and geochemistry of the Southern Extension of Paraná Traps in Uruguay. En: *III South American Symposium on Isotope Geology*, Córdoba (Arg.). Abstracts, 57–59.
- Floribal, L.M., Heaman, L.M., de Assis Janasi, V., de Fatima Bitencourt, M., 2014. Tectonic significance of the Florianópolis dyke swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: a reappraisal based on precise U-Pb dating. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 289, 140-150.
- Girardi, V.A.V., Mazzucchelli, M., Molesini, M., Civetta, L., Petrini, R., Bossi, J., ... Correia, C.T., 1996. Petrology and geochemistry of the mafic dyke swarm of the Treinta y Tres region, Northeast Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences* 9(3-4), 243-249.
- Gómez Rifas, C., Masquelín, H., 1996. Petrología y geoquímica de las rocas volcánicas cretácicas del Uruguay (No. 55 CON). En: *13° Congreso de Explotación de Hidrocarburos*, Asoc. Geol. Argentina- Inst. Argentino del Petróleo y Gas, 13(18). Buenos Aires.
- González, P.D., Poiré, D.G., Canalicchio, J.M., García Repetto, F., 2004. Geología y marco tectono- magmático de un enjambre longitudinal de diques del Terreno Nico Pérez (Minas, Uruguay). En: *Sociedad Uruguaya de Geología: V*

Congreso Geológico Uruguayo, Montevideo, Nov. 2004. Actas CD- Rom.

Hawkesworth, C.J., Gallagher, K., Kelley, S., Mantovani, M., Peate, D.W., Regelous, M., Rogers, N.W., 1992. Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. Geological Society, London, Special Publications 68(1), 221-240.

Irvine, T., Baragar, W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Earth Sciences 8, 523-548.

Janoušek, V., Farrow, C. M., Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). Journal of Petrology 47(6), 1255-1259.

Keiding, J.K., Frei, O., Renno, A.D., Veksler, I.V., Trumbull, R.B., 2013. Conditions of magma crystallization in the Henties Bay-Outjo dyke swarm, Namibia: Implications for the feeder system of continental flood basalts. Lithos 179, 16-27.

Lossada, A.C., Rapalini, A.E., Sánchez Bettucci, L.S., 2014. Enjambre de diques básicos de Nico Pérez- Zapicán, Uruguay: evidencias radiométricas y paleomagnéticas sobre su edad. Revista de la Asociación Geológica Argentina 71(3), 345-355.

Lustrino, M., Melluso, L., Brotzu, P., Gomes, C.B., Morbidelli, L., Muzio, R., ... Tassinari, C.C., 2005. Petrogenesis of the early Cretaceous Valle Chico igneous complex (SE Uruguay): relationships with Paraná-Etendeka magmatism. Lithos 82(3-4), 407-434.

Masquelin, H., Aífa, T., Muzio, R., Hallot, E., Veroslavsky, G., Bonnevalle, L., 2009. The Cuaró Mesozoic doleritic dyke swarm, southern Paraná basin, Uruguay: Examples of superimposed magnetic fabrics? Comptes Rendus Geoscience 341(12), 1003-1015.

Masquelin, H., Aífa, T., Cardozo, M., Scaglia, F., Navia, E., Muzio, R., 2019. El gabro olivínico Mansavillagra: ¿Magmatismo emplazado en la reactivación mesozoica de la falla de "Sarandí del Yí"? En: Sociedad Uruguaya de Geología: 9º Congreso Uruguayo de Geología, Trinidad, nov. 2019. Resúmenes.

Masquelin, H., Aífa, T., Scaglia, F., Basei, M.A.S., 2021. The Archean Pavas Block in Uruguay: Extension and tectonic evolution based on LA-ICP-MS U-Pb ages and airborne geophysics. Journal of South American Earth Sciences 110. En línea: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103364>

Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Vannucci, R., Bottazzi, P., Ottolini, L., Hofmann, A.W., Parenti, M. (1992). Primary positive Eu anomaly in clinopyroxenes of low-crust gabbroic rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta 56(6), 2363-2370.

Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Piccirillo, E.M., Girardi, V.A.V., Civetta, L., Petrini, R., 1995. Petrology of the Proterozoic mafic dyke swarms of Uruguay and constraints on their mantle source composition. Precambrian Research 74(3), 177-194.

- McDonough, W.F., Sun, S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-254.
- McMaster, M., Almeida, J., Heilbron, M., Guedes, E., Mane, M.A., Linus, J.H., 2019. Characterisation and tectonic implications of the Early Cretaceous, Skeleton Coast Dyke Swarm, NW Namibia. *J. Afr. Earth Sciences* 150, 319-336.
- Möller, P., Muecke, G.K., 1984. Significance of Europium anomalies in silicate melts and crystal-melt equilibria: a re-evaluation. *Contrib. Mineralogy and Petrology* 87(3), 242-250.
- Muzio, R., 2004. El magmatismo mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. En: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.), *Cuencas sedimentarias de Uruguay: Mesozoico*, 77-102.
- Muzio, R., Scaglia, F., Masquelín, H., 2012. Petrochemistry of Mesozoic mafic intrusions related to the Paraná Magmatic Province, Uruguay. *International Geology Review* 54(7), 844-860.
- Muzio, R., Peel, E., Porta, N., Scaglia, F., 2017. Mesozoic dykes and sills from Uruguay: Sr-Nd isotope and trace element geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences* 77, 92-107.
- Núñez Demarco, P., Masquelín, H., Prezzi, C., Aífa, T., Muzio, R., Loureiro, J., ... Sánchez Bettucci, L.S., 2020. Aeromagnetic patterns in Southern Uruguay: Precambrian-Mesozoic dyke swarms and Mesozoic rifting structural and tectonic evolution. *Tectonophysics* 789, 228373.
- Oriolo, S., Oyhançabal, P., Basei, M.A., Wemmer, K., Siegesmund, S., 2016. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): From Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton. *Precambrian Research* 280, 147-160.
- Pearce, J.A., Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to mineralogy and petrology* 69(1), 33-47.
- Pearce, J.A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. En: Geological Association of Canada: Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. *Short Course Notes*, 12(79), 113.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100(1-4), 14-48.
- Peate, D.W., 1997. The Parana - Etendeka province. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union* 100, 217-246.
- Piccirillo, E.M., Bellieni, G., Cavazzini, G., Comin-Chiaramonti, P., Petrini, R., Melfi, A.J., ... De Min, A., 1990. Lower Cretaceous tholeiitic dyke swarms from the Ponta Grossa Arch (southeast Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood volcanics. *Chemical Geology* 89(1-2), 19-48.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Molesini, M., Petrini, R., Girardi, V.A.V., Bossi, J., Campal, N., 1995. Petrology of Late Proterozoic mafic dikes in the Nico Pérez region, central Uruguay. *Mineralogy and Petrology* 55(4), 239-263.

- Rossello, E.A., De Santa Ana, H., Veroslavsky, G., 1999. El lineamiento Santa Lucía-Aiguá- Merín (Uruguay): Un rifting transtensivo mesozoico abortado durante la apertura Atlántica. En: V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil - I Simposio sobre el Cretácico de América del Sur: Serra Negra. Atas v. 1, 443-448.
- Rudnick, R.L., Presper, T., 1990. Geochemistry of intermediate-/to high-pressure granulites. En: Granulites and crustal evolution (pp. 523-550). Springer, Dordrecht.
- Scaglia, F., Muzio, R., Masquelin, H., 2010. Distribución y petrografía de los diques básicos Mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia Magmática Paraná, Uruguay. Revista SUG 16, 11- 23.
- Scaglia, F., Aífa, T., Viera, B., Masquelin, H., Muzio, R., Peel, E., Paris, A., 2021. Interpretación aeromagnética, relevamiento y caracterización de diques en el Este del Departamento de Cerro Largo, Uruguay. Revista SUG 23.
- Silva Lara, H., Martínez, P., Vivanco, L., Masquelin, H., 2016. Magmatismo básico mesozoico en la región de Polanco - Manguera Azul. En: Sociedad Uruguaya de Geología: VIII Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo. Res. Ampliados, 219-224.
- Stewart, K., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C., Kirstein, L., Mantovani, M., 1996. 3-D,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology in the Paraná continental flood basalt province. Earth and Planetary Science Letters 143(1-4), 95-109.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust, Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific, London.
- Viera Honegger, B., Peel, E., 2019. Caracterización petrográfica de los diques desarrollados en la región entre Las Cañas y Corral de Piedra, Departamento de Cerro Largo, Uruguay. En: Sociedad Uruguaya de Geología: IX Congreso Uruguayo de Geología, Trinidad, nov. 2019. Resúmenes.
- Will, T.M., Frimmel, H.E., Pfaender, J.A., 2016. Möwe Bay Dykes, Northwestern Namibia: Geochemical and geochronological evidence for different mantle source regions during the Cretaceous opening of the South Atlantic. Chemical Geology 444, 141-157.