



REINTERPRETACIÓN DE LA PETROGÉNESIS DEL ENJAMBRE DE DIQUES BÁSICOS DE NICO PÉREZ - ZAPICÁN, REGIÓN CENTRAL DEL URUGUAY

REINTERPRETATION OF THE PETROGENESIS OF THE SWARM OF BASIC DIKES OF NICO PÉREZ - ZAPICÁN, CENTRAL REGION OF URUGUAY

REINTERPRETAÇÃO DA PETROGÊNESE DO ENXAME DE DIQUES BÁSICOS DE NICO PÉREZ - ZAPICÁN, REGIÃO CENTRAL DO URUGUAI

Belén Viera^(a); Elena Peel^(b)

^a Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, MEC-Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay. e-mail: belviera61@gmail.com

^b Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.35042, Rennes, Francia.

Recibido: 26/05/21

Aceptado: 23/08/21

Editores: MSc. Fernando Scaglia
revista@sociedadgeologiauy.org

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

www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

El enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán es un conjunto de rocas básicas que ocurren en las cercanías de las localidades de Nico Pérez y Zapicán (departamentos de Florida y Lavalleja, respectivamente). Son caracterizados como diques subverticales con orientaciones aproximadas NE-SW y E-W. Petrográficamente, son rocas de textura porfírica a glomeroporfírica con fenocristales de plagioclasas (An_{68-62}), y en menores proporciones un clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Estas rocas originalmente fueron asignadas al Neoproterozoico, pero estudios posteriores (Lossada *et al.* 2014) indicaron que se formaron durante el Mesozoico, cambiando significativamente el contexto geológico en el que se emplazaron. A raíz de esto, se realizó una nueva interpretación de los datos geoquímicos publicados por Rivalenti *et al.* (1995), con el fin de dilucidar las características petrogenéticas y evaluar la posible vinculación con el magmatismo mesozoico desarrollado en el territorio uruguayo. De la re-interpretación realizada se desprende que las rocas del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán estarían vinculadas al evento distensivo asociado a la Provincia Magmática Paraná que dio origen a los diques y *sills* de la Formación Cuaró, apoyado tanto en la evidencia geocronológica como en la impronta geoquímica semejante entre ambas unidades. Consecuentemente, las características geoquímicas e isotópicas, indican que el magmatismo responsable

de estos cuerpos se corresponde con el magma tipo Gramado de bajo Ti de la Provincia Magmática de Paraná.

Palabras clave: diques básicos, petrogénesis, Mesozoico, Terreno Nico Pérez, Uruguay.

ABSTRACT

The Nico Pérez-Zapicán dyke swarm is a set of basic rocks that occurs in the regions of the towns of Nico Pérez and Zapicán (departments of Florida and Lavalleja, respectively). They are characterized as subvertical dikes with approximate NE-SW and E-W orientations. Petrographically, they are rocks with a porphyritic to glomeroporphyritic texture with phenocrysts of plagioclase (An_{68-62}) and in lower proportions clinopyroxene, opaque minerals and glass. These rocks were originally assigned to the Neoproterozoic, but later studies (Lossada *et al.* 2014) indicated that they were formed during the Mesozoic, significantly changing the geological context in which they were located. With the aim of elucidating the petrogenetic characteristics and to evaluate the possible link with the Mesozoic magmatism developed in Uruguayan territory. From the re-interpretation carried out, it can be deduced that the rocks of the Nico Perez-Zapicán Dike Swarm would be linked to the distensive event associated with the Paraná Magmatic Province that formed the dikes and sills of Cuaró Formation, supported by both geochronological and similar geochemical imprint between both units. Consequently, the geochemical and isotopic characteristics indicate that the magmatism responsible for these bodies corresponds to the Gramado type magma of low Ti of the Magmatic Province of Paraná..

Keywords: mafic dykes, petrogenesis, Mesozoic, Nico Pérez Terrane, Uruguay.

RESUMO

O enxame de diques Nico Pérez-Zapicán é um conjunto de rochas básicas que ocorrem nas proximidades das cidades de Nico Pérez e Zapicán (departamentos da Flórida e Lavalleja, respectivamente). São caracterizados como diques subverticais com orientações NE-SW e E-W aproximadas. Petrograficamente, são rochas de textura porfírica a glomeroporfírica com fenocristais de plagioclásio (An_{68-62}) e em menores proporções clinopiroxênio, minerais opacos e vidro. Essas rochas foram originalmente atribuídas ao Neoproterozóico, mas estudos posteriores (Lossada *et al.* 2014) indicaram que elas foram formadas durante o Mesozóico, mudando significativamente o contexto geológico em que estavam localizadas. Como resultado disso, foi realizada uma nova interpretação dos dados geoquímicos publicados por Rivalenti *et al.* (1995), com o objetivo de elucidar as características petrogenéticas e avaliar a possível ligação com o magmatismo mesozóico desenvolvido no território uruguaio. Da reinterpretação realizada,

pode-se deduzir que as rochas do enxame de diques Nico Perez-Zapicán estariam vinculadas ao evento distensivo associado à Província Magmática do Paraná que deu origem aos diques e sills da Formação Cuaró, com base nos dados geocronológicos e geoquímicos semelhantes entre as duas unidades. Consequentemente, as características geoquímicas e isotópicas indicam que o magmatismo responsável por esses corpos corresponde ao magma tipo Gramado de baixo Ti da Província Magmática do Paraná.

Palavras-chave: diques máficos, Mesozoico, Terreno Nico Pérez, Uruguai.

INTRODUCCIÓN

En la región cercana a las localidades de Nico Pérez y Zapicán se desarrolla un conjunto de diques básicos denominado enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán (Rivalenti *et al.* 1995). Muy pocos han sido los trabajos relacionados con este enjambre de diques (Preciozzi *et al.* 1985; Rivalenti *et al.* 1995; Bossi y Schipilov, 2007; Lossada *et al.* 2014). Tanto en los trabajos de Rivalenti *et al.* (1995) y de Bossi y Schipilov (2007) se presentan datos petrográficos, litoquímicos, isotópicos y de química mineral, pero fueron siempre interpretados como de edad Neoproterozoica. Posteriormente, Lossada *et al.* (2014) dataron estos diques por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa, ubicándolos en el Mesozoico. Teniendo en cuenta esto, tanto la interpretación geológica como la génesis anteriormente propuesta cambian significativamente. El objetivo de este trabajo es realizar una reinterpretación petrogenética de los diques empleando los datos isotópicos y de elementos traza reportados por Rivalenti *et al.* (1995) pero con base en el estudio geocronológico de Lossada *et al.* (2014). Además, teniendo en cuenta su edad, se realiza la comparación con los diques y sills mesozoicos que ocurren en el área, empleando los datos reportados por Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2012, 2017). De esta manera se contribuye a un mayor conocimiento de la petrogénesis de estos cuerpos y se establecen posibles relaciones con eventos magmáticos mesozoicos registrados en la región.

ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

El Terreno Nico Pérez (*sensu* Sanchez Bettucci *et al.* 2010) está limitado por la Zona de Cizalla Sarandí del Yi al Oeste, y por la Zona de Cizalla María Albina-Fraile Muerto al Este. Este terreno está compuesto por secuencias metamórficas de alto grado de edades arqueanas a paleoproterozoicas y está intruido por el granito paleoproterozoico de Illescas y varias intrusiones graníticas neoproterozoicas (Campal y Schipilov, 1999; Sánchez Bettucci *et al.* 2010; Oyhantçabal *et al.* 2011a, 2012). Abarca los denominados bloques estructurales

Pavas, Valentines y Rivera (Preciozzi *et al.* 1985). Los bloques Pavas y Valentines son parte de la roca caja donde se emplazó el enjambre de diques de Nico Pérez- Zapicán durante el Mesozoico.

De acuerdo a los antecedentes, los primeros en reconocer este enjambre de diques fueron Preciozzi *et al.* (1985), donde mencionan un magmatismo básico en forma de filones que intruyen la roca caja en las cercanías de Zapicán. Posteriormente, Rivalenti *et al.* (1995) realizan un estudio petrológico del enjambre de diques. En este trabajo se reconoce químicamente a los diques como basaltos tholeiíticos y andesitas basálticas, y se sugiere que sufrieron fraccionamiento en cámaras magmáticas superficiales. Además, estos autores indican enriquecimiento en elementos litófilos de gran tamaño (LILE) y elementos tierras raras livianas (LREE) respecto a elementos de alta carga iónica (HFSE) y tierras raras pesadas (HREE), altas relaciones Rb/Ba y Rb/Sr, bajo K/Rb y anomalías negativas de Nb y Ti.

Luego, Mazzucchelli *et al.* (1995), basados en trabajos previos (Bossi *et al.* 1993; Rivalenti *et al.* 1995), sugieren una edad neoproterozoica y un bajo grado de fusión mantélica para la génesis de dichos diques. Asimismo, mencionan que los patrones de elementos traza de los diques de Nico Pérez se asemejan a los de los basaltos de bajo-Ti del Gondwana y del Sur de Paraná, e interpretan que el manto litosférico que originó a estos últimos durante la extensión mesozoica se encuentra previamente enriquecido y presenta características geoquímicas e isotópicas heredadas de los procesos ocurridos en el Proterozoico.

Según Lossada *et al.* (2014) el enjambre de diques básicos aflora en un área de 30 km de largo por 10 km de ancho en las cercanías de las localidades de Nico Pérez y Zapicán (Figura 1).

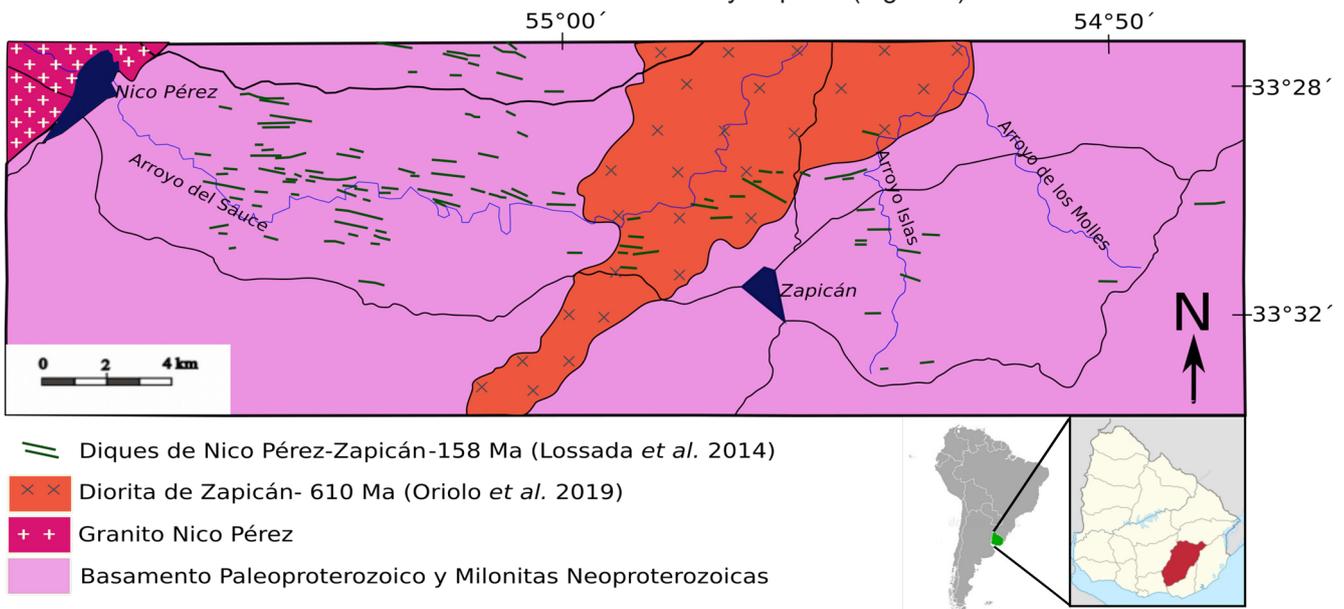


FIGURA 1. Ubicación del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán. Modificado de Lossada *et al.* (2014).
FIGURE 1. : Location of the Nico Pérez-Zapicán dike swarm. Modified from Lossada *et al.* (2014)

Son diques subverticales, donde predominan principalmente las orientaciones E-O y en menor medida ONO-ESE. Petrográficamente presentan textura porfirítica a glomeroporfirítica, con fenocristales de plagioclasas (An_{68-62}) y en menores proporciones de clinopiroxeno, inmersos en una matriz con clinopiroxeno, plagioclasa, minerales opacos y vidrio. Estos diques cortan en el sector oriental estudiado por Lossada *et al.* (2014), a la granodiorita de Zapicán y hacia el sector occidental intruyen al Batolito de Illescas cuya edad es de 1,77 Ga (Campal y Schipilov, 1999; Oriolo *et al.* 2019; Sanchez Bettucci *et al.* 2021). En cuanto a la granodiorita de Zapicán, la edad obtenida por Oriolo *et al.* (2016), es de $610,4 \pm 2.5$ Ma (U-Pb en circón). Por otro lado, la edad radiométrica obtenida por Lossada *et al.* (2014) para los diques básicos por el método Ar^{39} - Ar^{40} en plagioclasa es 158 ± 3 Ma, posicionándolos en el Jurásico Superior. Con los nuevos datos radiométricos y magnéticos Lossada *et al.* (2014) acotaron la edad de formación de estos diques al Jurásico Medio a Superior, y proponen que el evento que dio lugar al enjambre de diques de Nico Pérez-Zapicán ocurrió en el Mesozoico, probablemente asociado a los primeros esfuerzos tectónicos que ocasionaron la apertura del Océano Atlántico Sur.

En el contexto regional los procesos distensivos ocurridos durante el Jurásico-Cretácico (Piccirillo y Melfi, 1988), asociados a la fragmentación de Gondwana y a la posterior apertura del Océano Atlántico, se vinculan con la génesis de la Provincia Magmática Paraná -PMP- (Peate, 1997). Esta provincia está formada por amplias extensiones de rocas ígneas extrusivas y en menor medida intrusivas. Piccirillo y Melfi (1988) clasificaron las rocas asociadas a la PMP en dos grupos basados en su contenido de TiO_2 . Posteriormente, Peate *et al.* (1992) y Peate (1997) establecieron una clasificación basada en la composición química e isotópica de los mismos, los basaltos de bajo Ti y alto Ti. Además, realizaron una subdivisión de ambos grupos basado en algunas relaciones presentes en el tipo de magma ($\%TiO_2$, Ti/Y, Ti/Zr, y $^{87}Sr/^{86}Sr$), reconociéndose para la región Sur de la PMP los magmas tipo Gramado, Esmeralda y Urubici.

En Uruguay, este magmatismo está representado por los derrames basálticos de la Formación Arapey (Bossi, 1966), por coladas basálticas subsuperficiales denominadas Formación Gaspar (de Santa Ana y Veroslavsky, 2003) y por los cuerpos intrusivos (*sills* y diques) de la Formación Cuaró (Preciozzi *et al.* 1985). Tanto los basaltos de la Formación Arapey como los cuerpos intrusivos de la Formación Cuaró corresponden al grupo de bajo TiO_2 y dentro de estos a los tipos Gramado y Esmeralda (Scaglia, 2013; Muzio *et al.* 2012, 2017). El registro de este magmatismo en Uruguay está comprendido entre los 152 y 121 Ma para las formaciones Cuaró y Arapey (Creer *et al.* 1965; Feraud *et al.* 1999; de Santa Ana y Veroslavsky, 2003); en tanto la edad radiométrica K/Ar obtenida para la Formación Gaspar es de 165 ± 8 Ma (de Santa Ana y Veroslavsky, 2003).

METODOLOGÍA

La metodología implicó la revisión bibliográfica y la realización de una nueva evaluación de los datos químicos e isotópicos publicados por Rivalenti *et al.* (1995), en base a la información geocronológica de Lossada *et al.* (2014). Se recalcularon las relaciones iniciales de ϵNd y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a 158 Ma, y se realizó una nueva interpretación petrogenética de los diques de Nico Pérez-Zapicán. Adicionalmente, se cotejaron los datos obtenidos en este trabajo con los publicados por Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2017) para los diques y sills de la Formación Cuaró (Mesozoico). Para el procesamiento y representación gráfica de los datos se emplearon los *softwares* *GCDKit* (Janoušek *et al.* 2019) e *Inkscape*. Los datos calculados en este trabajo a partir de Rivalenti *et al.* (1995) se indican en la Tabla 1.

TABLA 1. Relaciones de cada una de las muestras recalculadas en este trabajo (modificado de Rivalenti *et al.* 1985).
TABLE 1. Relationships of each of the samples recalculated in this work (modified from Rivalenti *et al.* 1985).

Muestras	U108	U109	U112	U113	U114
Ti/Y	0,041	0,042	0,0422	0,0379	0,0451
Ti/Zr	0,0077	0,0078	0,0083	0,0077	0,01
Nb/La	0,3433	0,4386	0,3482	N/d	0,4294
La/Lu	8,8593	6,666	8,1376	N/d	7,7251
La/Sm	4,4807	3,8	4,1875	N/d	3,8809
Zr/Nb	23,875	23,5	26	16,1538	18,571
La/Nb	2,9125	2,28	2,8714	0	2,3285
Ba/Nb	39,375	35,5	46,428	22,307	34,285
Rb/Nb	5	5,2	6	3,923	2,5714
Ba/La	13,5193	15,5701	16,169	N/d	14,723
Rb/Sr	0,16	0,2212	0,1693	N/d	0,0775
Ba/Yb	119,772	103,8011	131,5789	N/d	113,74
Rb/Y	1,111	1,1818	1,166	N/d	0,6206
Rb/Zr	0,2094	0,2212	0,2307	N/d	0,1384
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	0,7128	0,71125	0,713		0,7099
ϵNdi	-6,12	-2,57	-5,92		-3,88

RESULTADOS

1. Características geoquímicas

De acuerdo con los datos litoquímicos de Rivalenti *et al.* (1995) el enjambre de diques de Zapicán -Nico Pérez es básico a intermedio, y presenta contenidos de SiO_2 entre 51,94% y 55,26%, TiO_2 entre 1,38% y 1,85%, Al_2O_3 entre 14,91% y 17,34%, FeO_t entre 10,58 y 12,35%, MgO entre 3,34% y 5,16%, Na_2O entre 2,41% y 2,85%,

TAS (Le Bas et al. 1986)

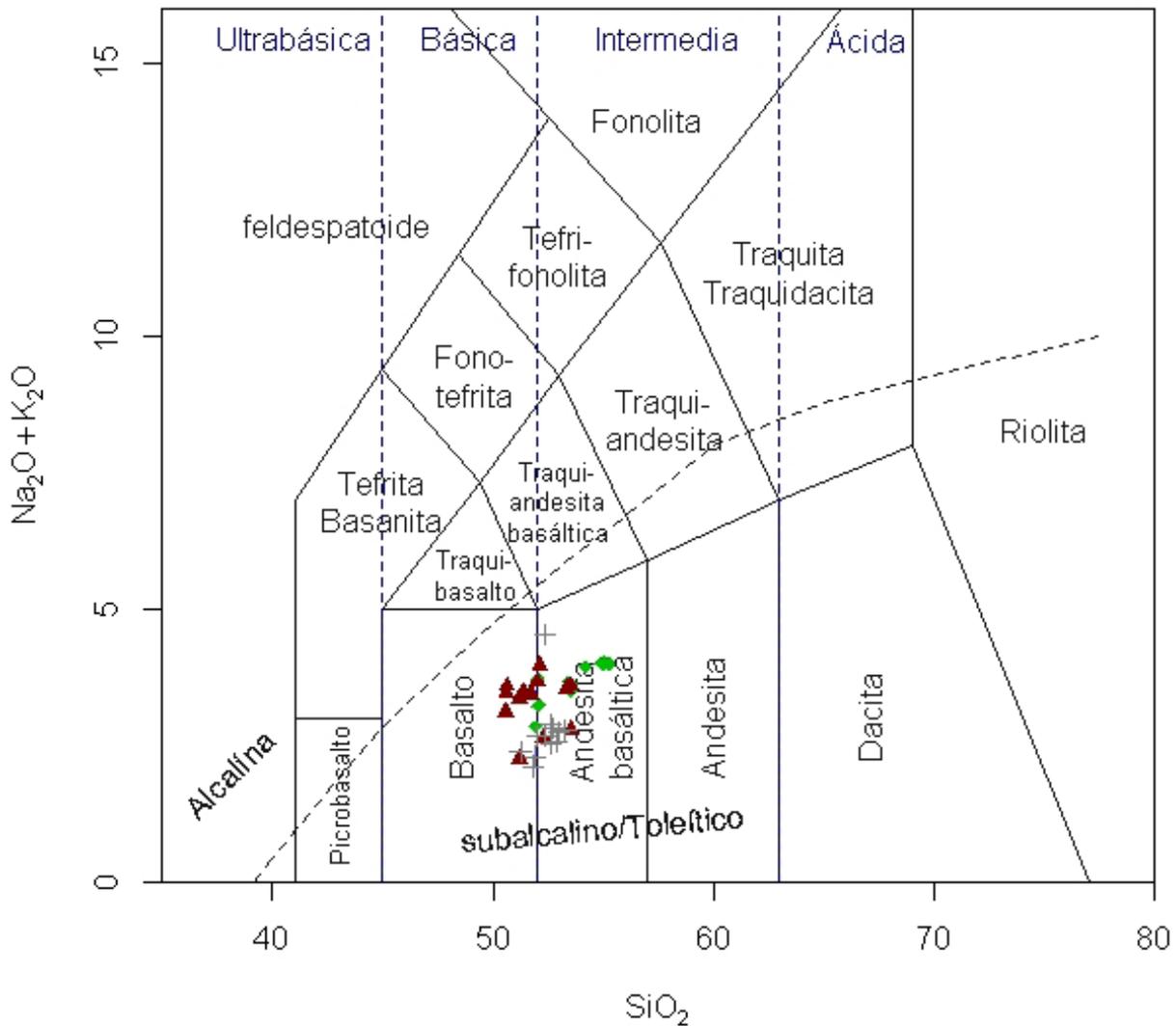


FIGURA 2. : Diagrama de clasificación de rocas de Le Bas et al. (1986). Simbología: ◆ : diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲ : diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio et al. 2017), + : sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 2. Rock classification diagram from Le Bas et al. (1986). Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio et al. 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

K₂O con contenidos entre 0,42% y 1,47%, CaO entre 8,32% y 10,85% y por último P₂O₃ entre 0,10% y 0,22%.

Según los diagramas de clasificación geoquímica las rocas son caracterizadas como basaltos toleíticos y basalto andesitas (Figura 2), de naturaleza toleítica/subalcalina, tal como lo indicaron Rivalenti et al. (1995).

Para determinar el carácter químico de estas rocas se utilizó el diagrama de Shand (1943) del cual se obtuvo que todas las muestras caen en el campo metaluminoso (Figura 3a). Además, utilizando el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971) se corrobora que forman parte de la serie toleítica (Figura 3b).

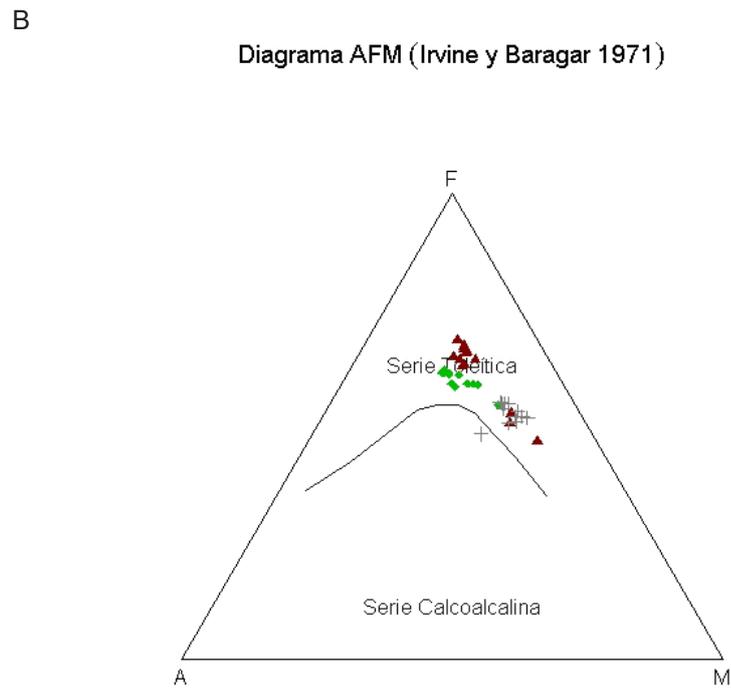
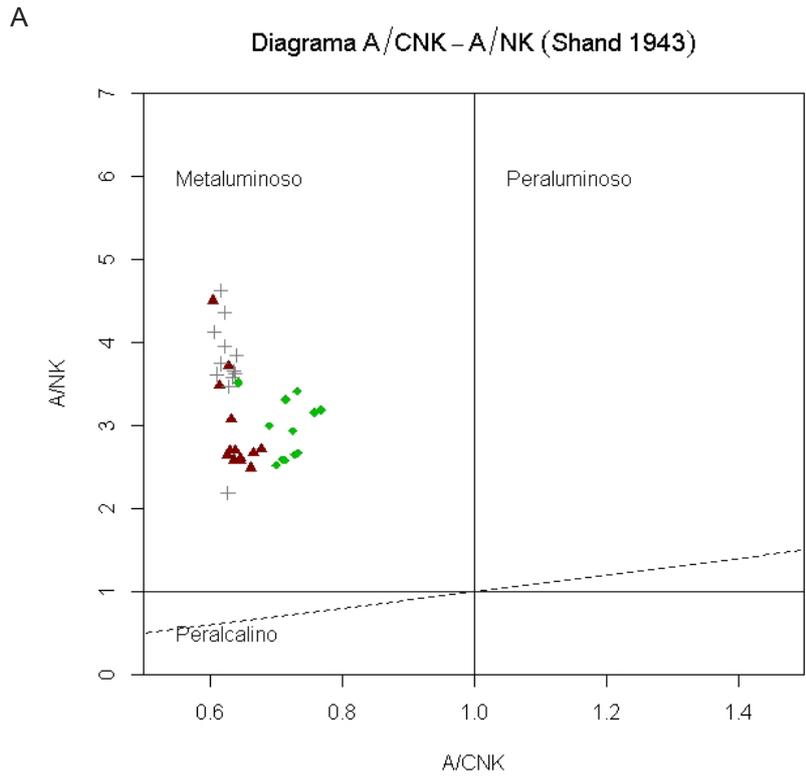


FIGURA 3. a) Diagrama de clasificación A/CNK-A/NK de Shand (1943). b) Diagrama AFM según Irvine y Baragar (1971).
 Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 3. a) A/CNK-A/NK classification diagram. (Shand, 1943). b) AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971).
 Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

Multiple plot of MgO vs. SiO₂, Al₂O₃, FeOt, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅

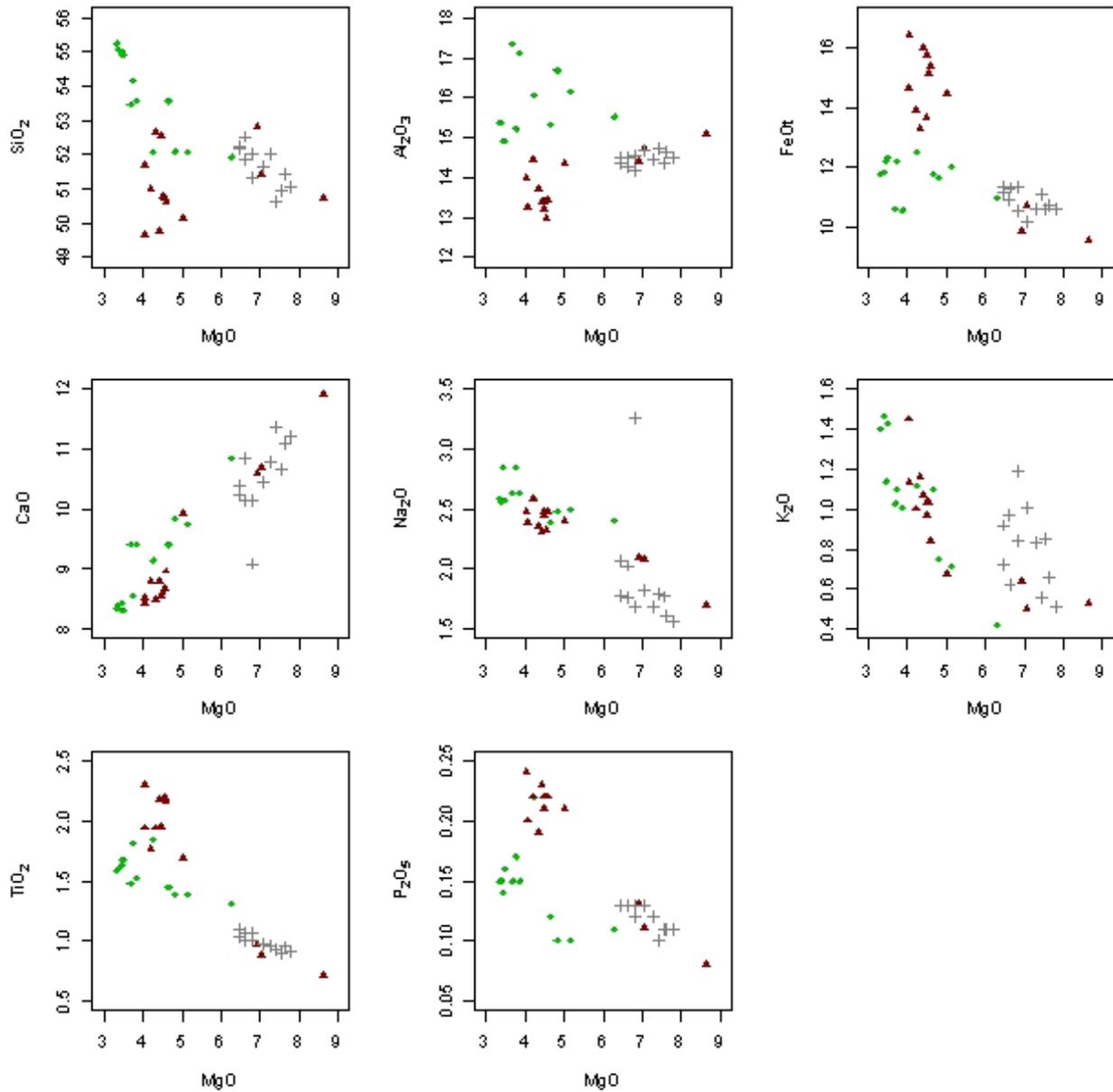


FIGURA 4. Gráficos de elementos mayores vs MgO de las muestras del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán y de la Formación Cuaró. Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio et al. 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 4. Diagrams of major elements vs. MgO of the Nico Pérez-Zapicán dike swarm and the Cuaró Formation. Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio et al. 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

Los diagramas bivariantes mostrados en la figura 4, de elementos mayores y menores vs MgO, indican correlaciones positivas cercanas a 1 en CaO, mientras que los demás óxidos exhiben correlaciones negativas.

Cabe destacar que algunos óxidos (CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂) se proyectan en un rango similar a los mostrados para los diques de Cuaró. Estos rangos difieren claramente de las relaciones graficadas para los sills de Cuaró.

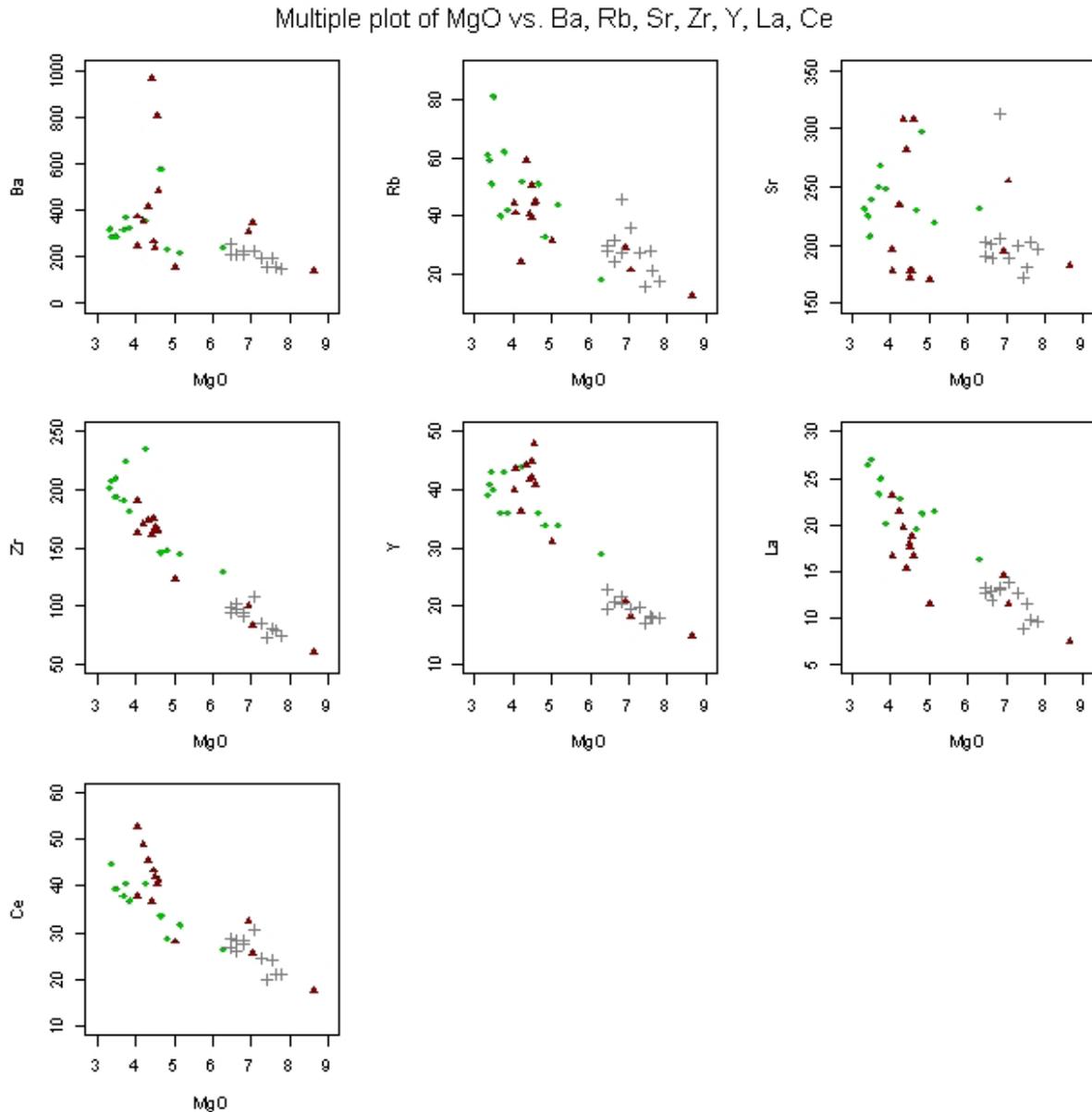


FIGURA 5. Gráficos de elementos trazas vs MgO con muestras del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán, diques y sills de la Fm. Cuaró. Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 5. Diagrams of trace elements vs MgO of the Nico Pérez-Zapicán dike swarm and the Cuaró Formation. Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017); +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

Por otro lado, la relación observada entre los elementos trazas vs MgO es negativa con todos los elementos graficados (Figura 5) y, además, se observa que la mayoría de los valores están comprendidos en el rango de los diques de Cuaró (Rb, Ba, Zr, Y, La, Ce). El comportamiento de los elementos trazas y algunos mayores y menores, sugieren que puede haber dos tendencias de evolución para las muestras graficadas, y que la evolución de los diques de Nico Pérez- Zapicán se asemejaría a la de los diques de Cuaró.

Zr/4 – 2Nb – Y (Meschede 1986)

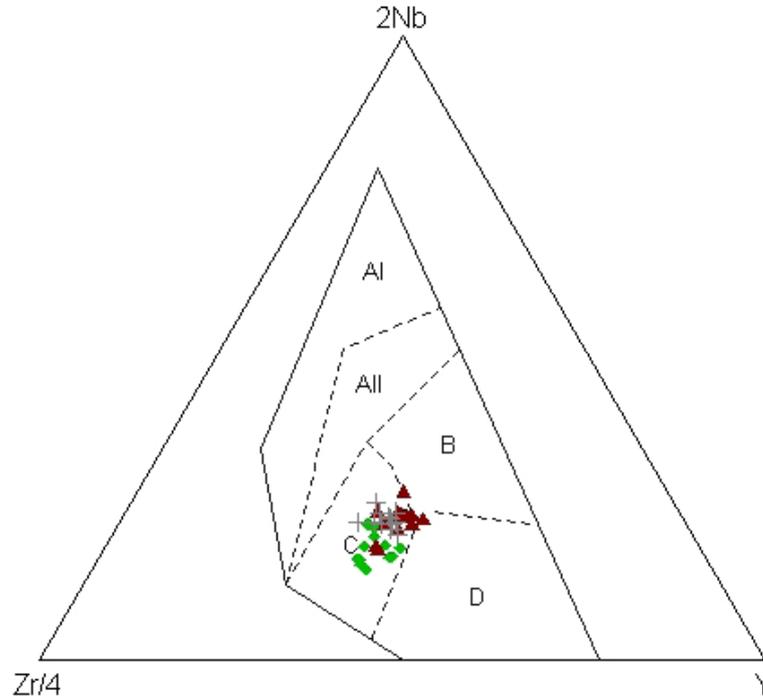


FIGURA 6. Diagrama de discriminación de ambiente geotectónico basado en Zr-Nb-Y según Meschede (1986). A1) Basaltos alcalinos intraplaca, AII) Basaltos intraplaca tholeiíticos y alcalinos, B) Basaltos de dorsales centro-oceánicas tipo-E, C) Basaltos intraplaca tholeiíticos y de arcos volcánicos, D) Basaltos de arcos volcánicos y de dorsales centro-oceánicas de tipo-N. Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 6. Geotectonic environment discrimination diagram based on Zr-Nb-Y according to Meschede (1986). A1) Intraplate alkaline basalts, AII) Tholeiitic and alkaline intraplate basalts, B) E-type mid-oceanic ridge basalts, C) Tholeiitic and volcanic-arc intraplate basalts, D) Volcanic-arc basalts and N-type mid-ocean ridge basalts. Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

Para caracterizar el ambiente geotectónico se empleó el diagrama para rocas básicas basado en Zr-Nb-Y de Meschede (1986), en el cual, las muestras caen en el campo de basaltos de intraplaca tholeiíticos (Figura 6).

De acuerdo con el diagrama de Pearce (2008) de la figura 7, usado como proxy para distinguir contaminación cortical y profundidad de fusión, tanto las muestras analizadas en este trabajo, como las de Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2017) se proyectan dentro del arreglo MORB, en el sector de E-MORB, sugiriendo fundidos generados a poca profundidad.

Nb/Yb – TiO₂/Yb (Pearce 2008)

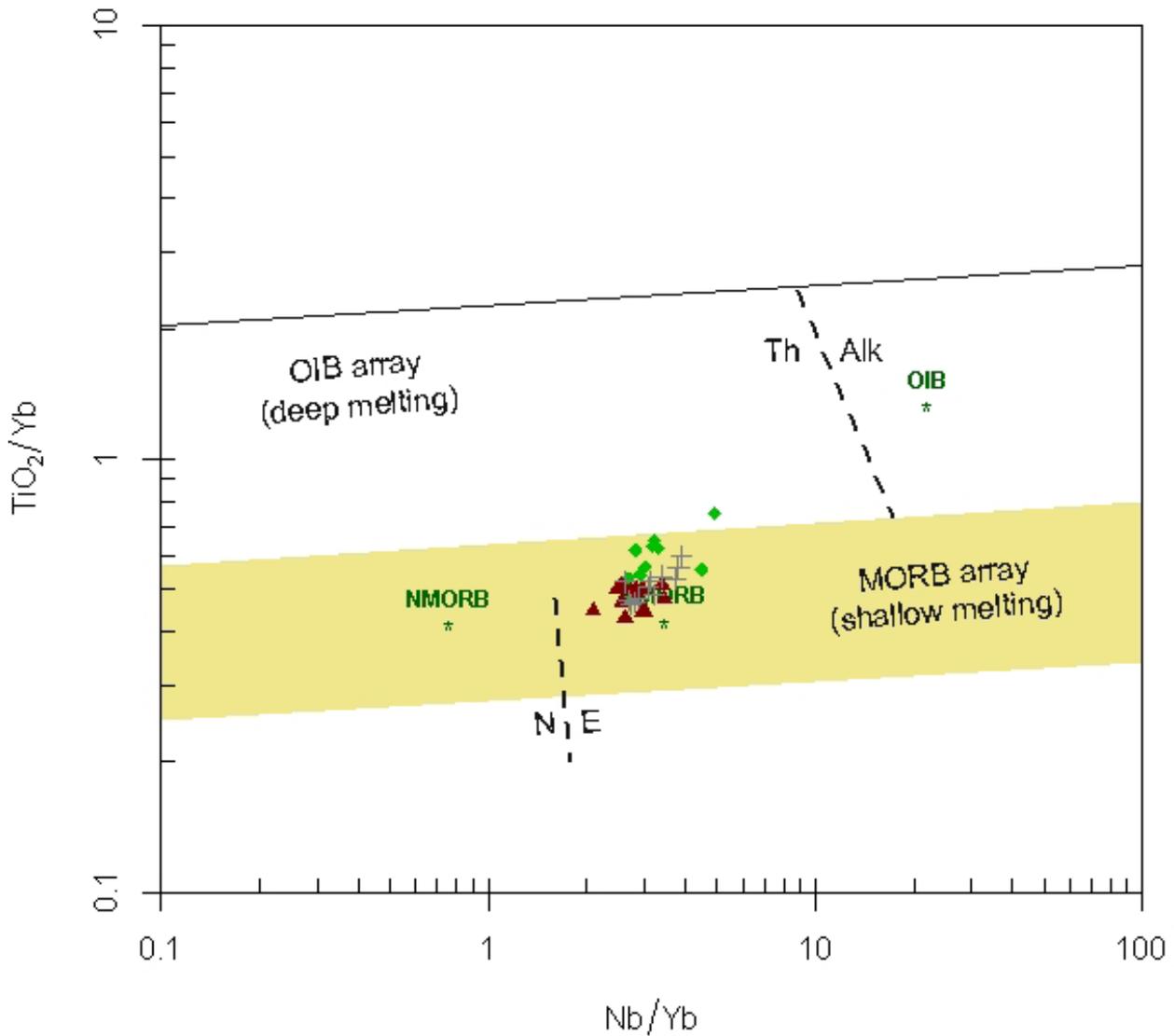


FIGURA 7. Diagrama TiO₂/Yb vs Nb/Yb de Pearce (2008). Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 7. TiO₂/Yb vs Nb/Yb diagram from Pearce (2008). Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013)

Los patrones de elementos tierras raras (ETR) muestran valores entre 100 y 10 veces más que la condrita (Figura 8), mostrando un ligero enriquecimiento en tierras raras livianas con valores La/Sm entre 2,3 y 4,1. En lo que respecta a las tierras raras pesadas se observa una leve tendencia al empobrecimiento, con valores de Eu/Yb entre 1,4 y 1,8. Se observan muestras con una incipiente anomalía negativa en Eu (0,83-1,04), si bien, en promedio la relación Eu/Eu* se ubica cercano a 1 (0,952). Se puede apreciar que los patrones de ETR

tienen un paralelismo claro con los diques de Cuaró, principalmente, y se observa para los diques de Nico Pérez-Zapicán un grado de enriquecimiento levemente mayor que las muestras de los *sills* de Cuaró.

Spider plot – REE chondrite (Boynton 1984)

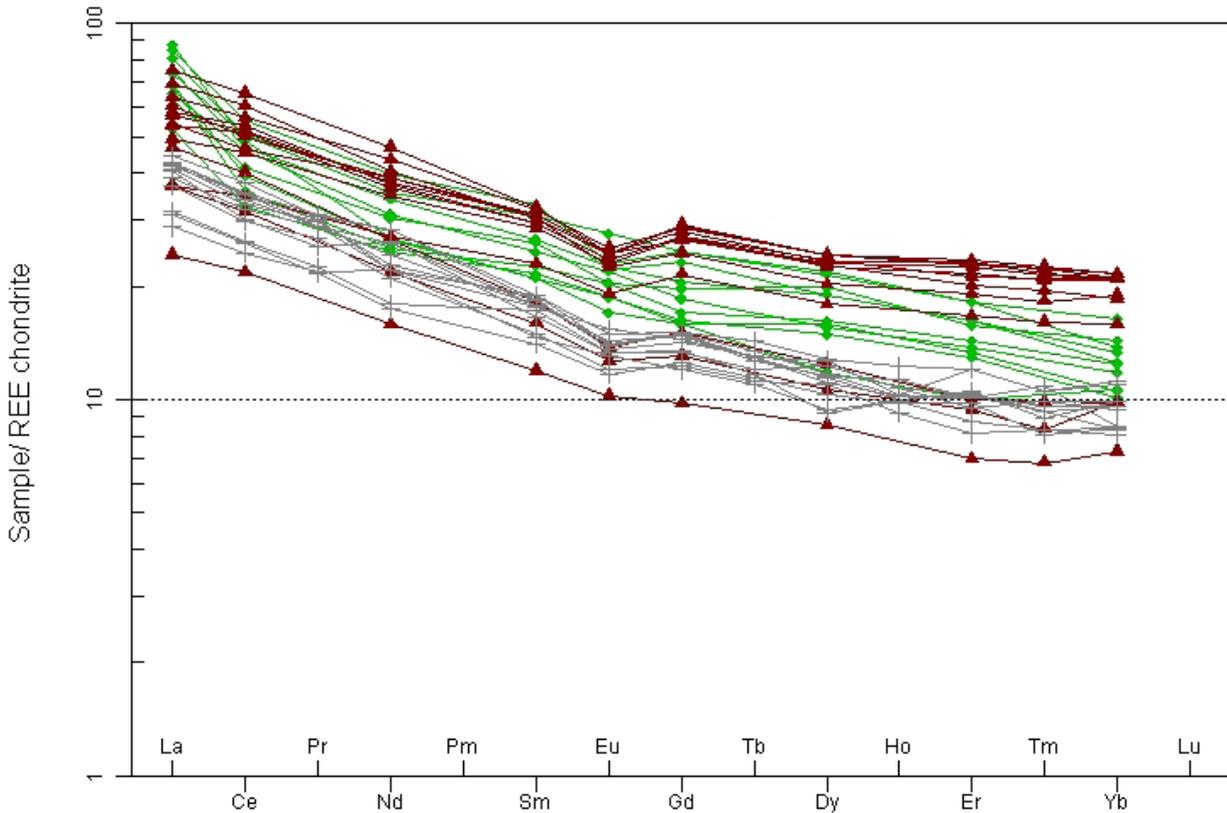


FIGURA 8. Diagrama *spider* de tierras raras normalizado a condrita según Boynton (1984). Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 8. Rare earth spider diagram normalized to chondrite (Boynton, 1984). Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

Por otro lado, los diagramas *spider* multielementos normalizados a condrita (Thompson, 1982; Figura 9a) y al manto primitivo (Sun y McDonough, 1989; Figura 9b), indican la presencia de anomalías negativas en los elementos Nb, Ti, Ba, Sr, y P, y positivas en los elementos incompatibles móviles Rb y K. La existencia de estas anomalías negativas sugiere que el magma formador de estas rocas puede haber sufrido procesos de contaminación cortical. Cabe notar, nuevamente, la relación de similitud entre los diques de Cuaró y los diques Nico Pérez-Zapicán.

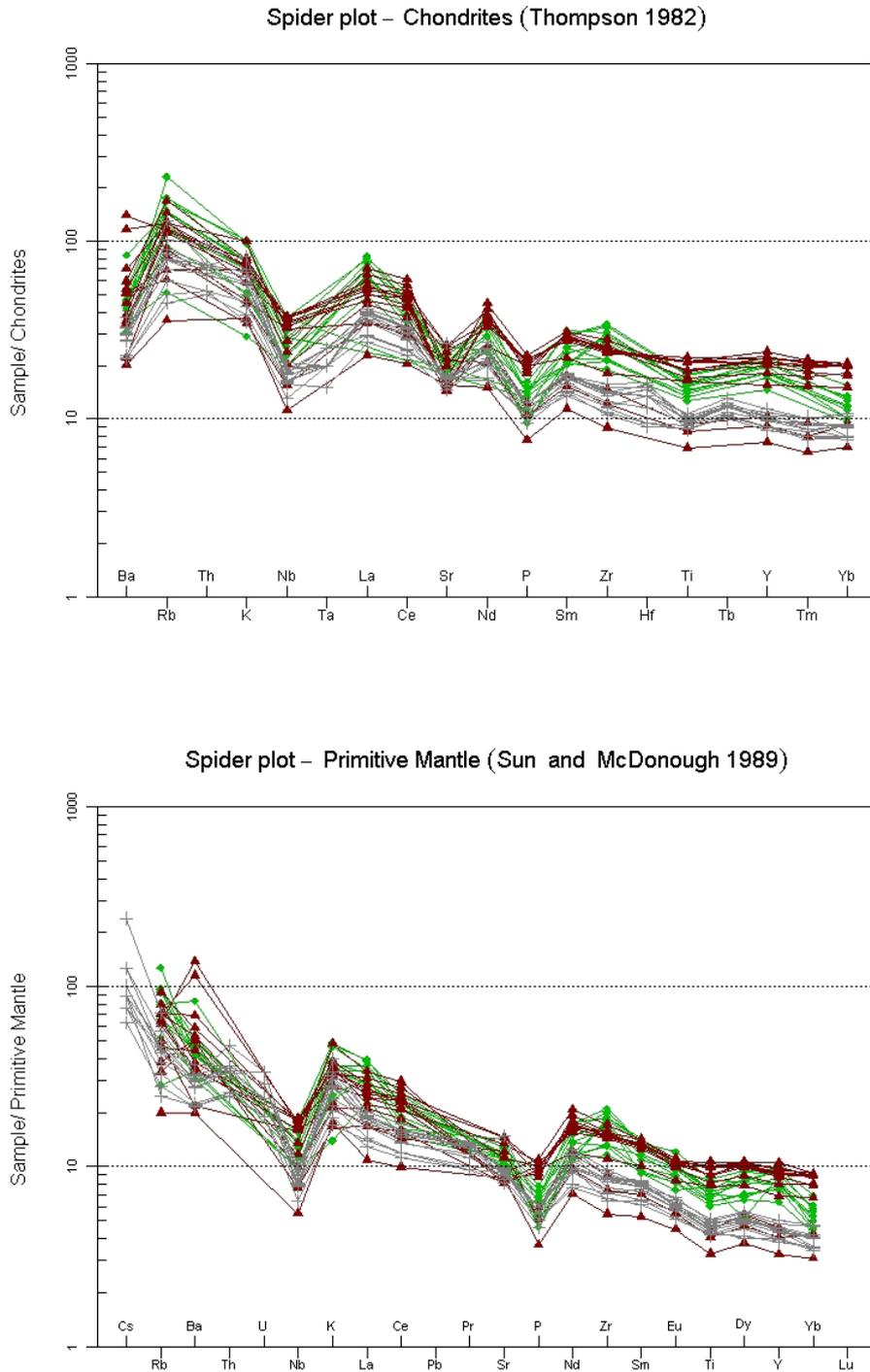


FIGURA 9. a) Diagrama *spider* multielemento normalizado a condrita según Thompson (1982). b) Diagrama *spider* de elementos traza normalizado a manto primitivo según Sun y McDonough (1989). Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 9. Multi-element spider diagram normalized to chondrite (Thompson, 1982). b) Trace element spider diagram normalized to primitive mantle (Sun and McDonough, 1989). Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

En los diagramas donde se relacionan los elementos traza (Figura 10), se observa un comportamiento de las muestras similar al de los diques de la Formación Cuaró, principalmente en las relaciones Rb/Y y Rb/Zr.

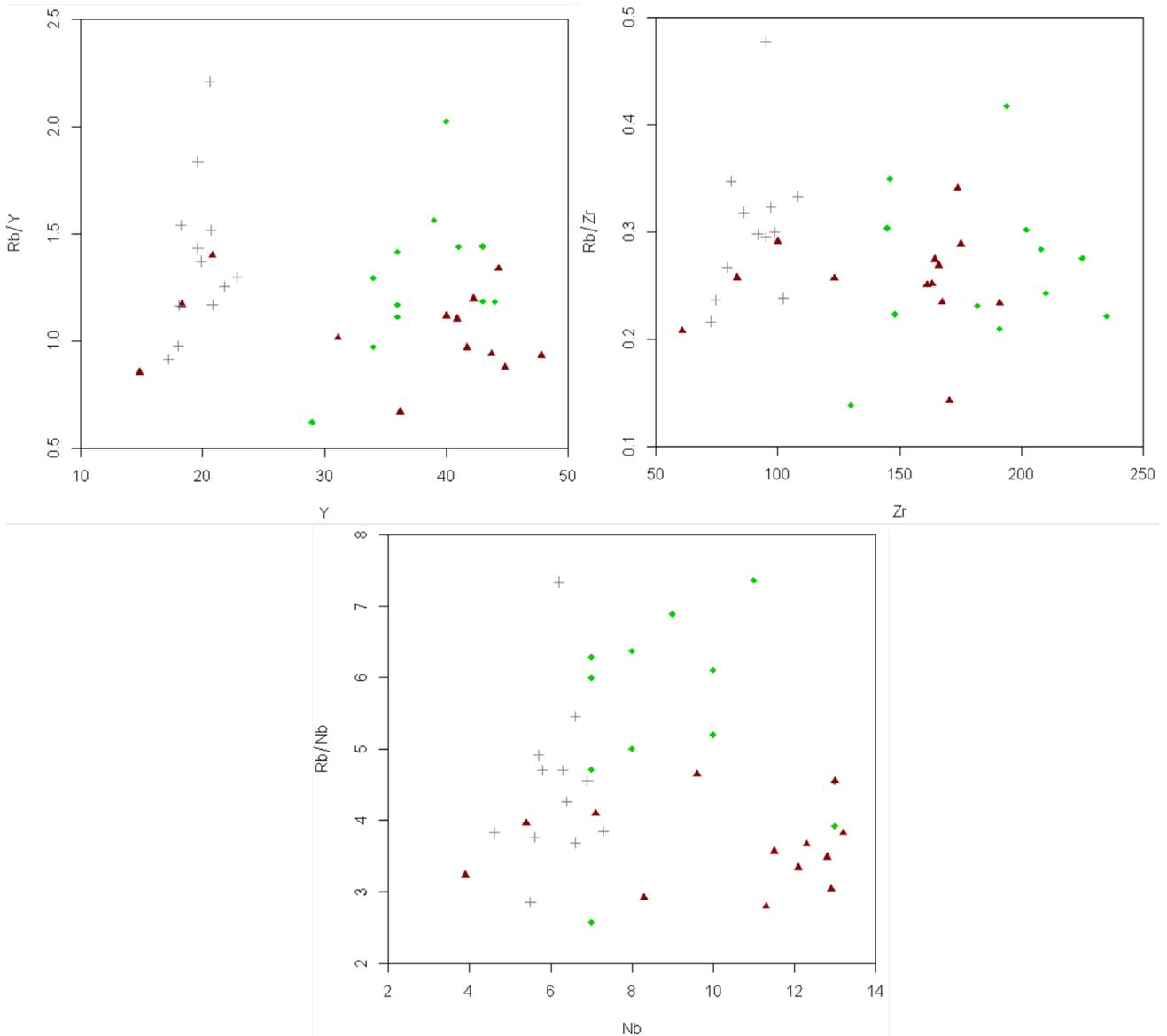


FIGURA 10. Diagrama de relación de elementos trazas para las muestras de Formación Cuaró y enjambre de diques de Nico Pérez-Zapicán. Simbología: ◆: diques de Nico Pérez-Zapicán, ▲: diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), +: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 10. Trace element relationship diagram for samples from Cuaró Formation and Nico Pérez-Zapicán dike swarm. Symbology: ◆: Nico Pérez-Zapicán dikes, ▲: Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), +: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

1. Parámetros petrogenéticos Sr y Nd

Los datos isotópicos de Sm-Nd y Rb-Sr determinados en Rivalenti *et al.* (1995), fueron recalculados a una edad de 158 Ma, de acuerdo con la edad determinada por Lossada *et al.* (2014). En la tabla 1 se encuentran

los valores recalculados en este trabajo. Las relaciones $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ varían entre 0,512121 a 0,512303 y los ϵNd varían desde -6,12 a -2,57, en tanto los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ están comprendidos entre 0,709386 y 0,7175, lo que se refleja en el gráfico de la Figura 11.

Las edades modelo recalculadas para estas muestras están comprendidas entre 1,11 y 1,39 Ma (Figura 12), semejantes a las obtenidas por Scaglia (2013).

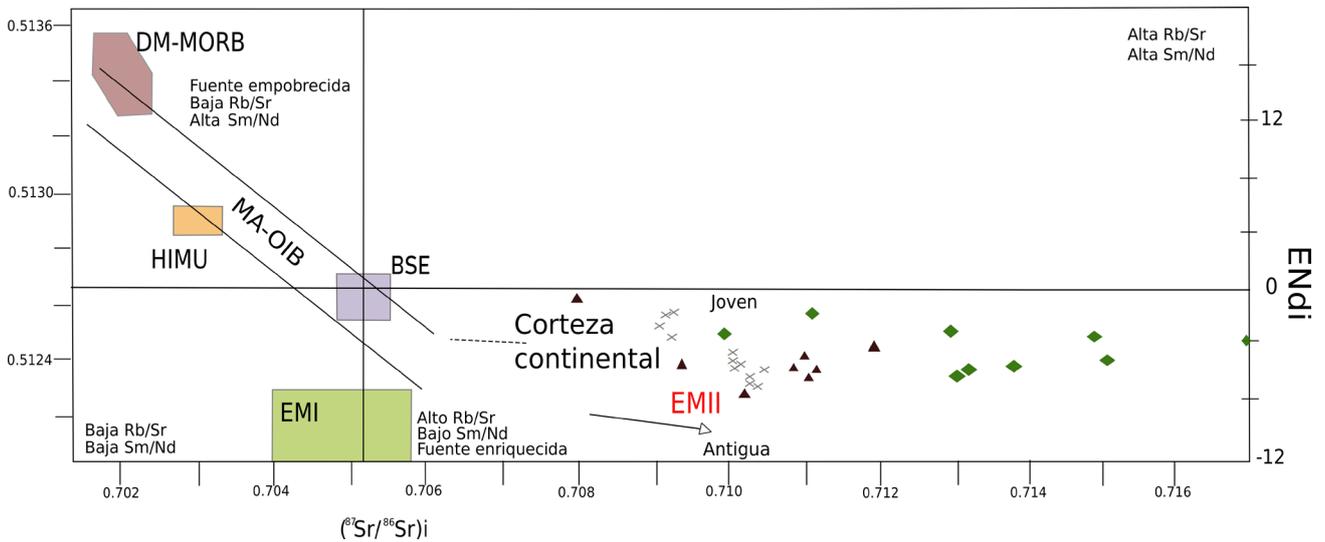


FIGURA 11. Distribución de las muestras en diagrama de fuentes magmáticas (modificado de DePaolo y Wasserburg, 1979 y Zindler y Hart, 1979). Simbología: \blacklozenge : diques de Nico Pérez-Zapicán, \blacktriangle : diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio et al. 2017), \times : sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).

FIGURE 11. Distribution of samples in magmatic sources diagram (modified from DePaolo and Wasserburg, 1979 and Zindler and Hart, 1979). Symbology: \blacklozenge : Nico Pérez-Zapicán dikes, \blacktriangle : Cuaró Formation dikes (taken from Muzio et al. 2017), \times : Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

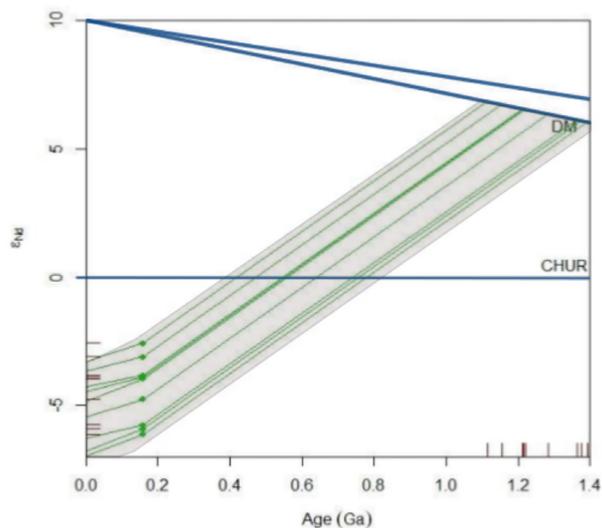


FIGURA 12. a) Diagrama de variación del ϵNd con la edad según DePaolo (1988) para los diques de Nico Pérez-Zapicán de 158 Ma. En sombreado se observa el rango de datos para 130 Ma de los sills de Cuaró, tomado de Scaglia (2013).

FIGURE 12. a) Diagram of variation of ϵNd with age according to DePaolo (1988) for the Nico Pérez-Zapicán dikes of 158 Ma. Shading shows the range of data for 130 Ma of the Cuaró sills, taken from Scaglia (2013).

Para estimar el tipo de reservorio que dio origen al enjambre de diques se utilizó el diagrama de Zindler y Hart (1986). Se puede observar que las muestras se disponen en el cuadrante de fuentes enriquecidas (Figura 11), con una moderada a alta relación Rb/Sr (0,1 a 0,3), acorde con las altas relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial, y una baja relación Sm/Nd consecuente con los bajos valores de ϵNd_i , donde los valores se proyectan en el sector de manto enriquecido tipo EMII. Este tipo de reservorio sugiere fuentes mantélicas oceánicas o de litosfera subcontinental proterozoicas a fanerozoicas.

Por otro lado, teniendo en cuenta la edad atribuida a estos cuerpos y el contexto regional, se graficaron las muestras según el diagrama de clasificación de las rocas básicas de la Provincia Magmática Paraná (Peate, 1976; Figura 13). Los resultados indican que estos cuerpos son semejantes a los basaltos tipo Gramado, caracterizados por bajo Ti y es concordante con las relaciones obtenidas a partir de los elementos traza.

Por último, utilizando las relaciones iniciales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se obtuvo la figura 15, donde se relaciona con elementos incompatibles (Ba/Yb). En este diagrama se puede observar cómo los valores se corresponden con los de la Formación Cuaró, mostrando en algunos casos un grado de contaminación mayor. Por otro lado, contrastando la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs Nb/La, se observa una correlación negativa de las muestras.

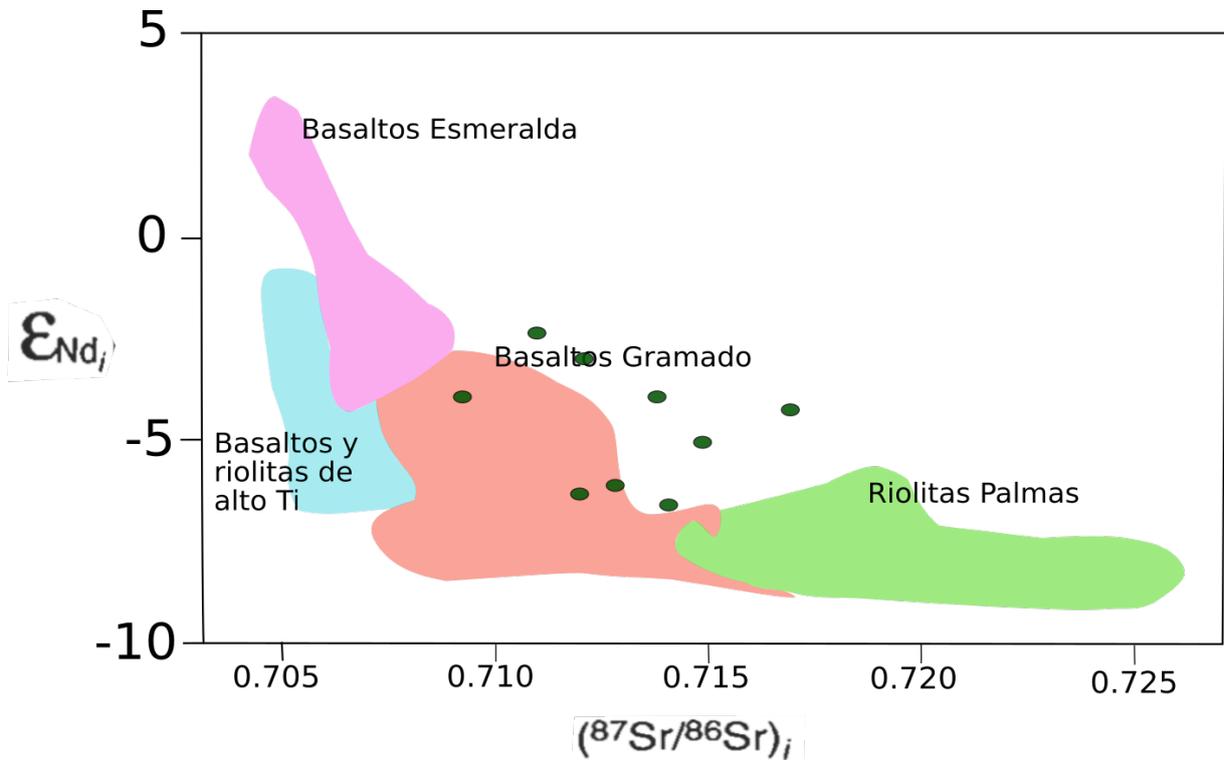


FIGURA 13. Diagrama de clasificación de las rocas básicas de la Provincia Magmática Paraná (Peate, 1997), ϵNd_i vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ para las muestras del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán.

FIGURE 13. Classification diagram of the basic rocks of the Paraná Magmatic Province (Peate, 1997), ϵNd_i vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ for samples from the Nico Pérez-Zapicán dike swarm.

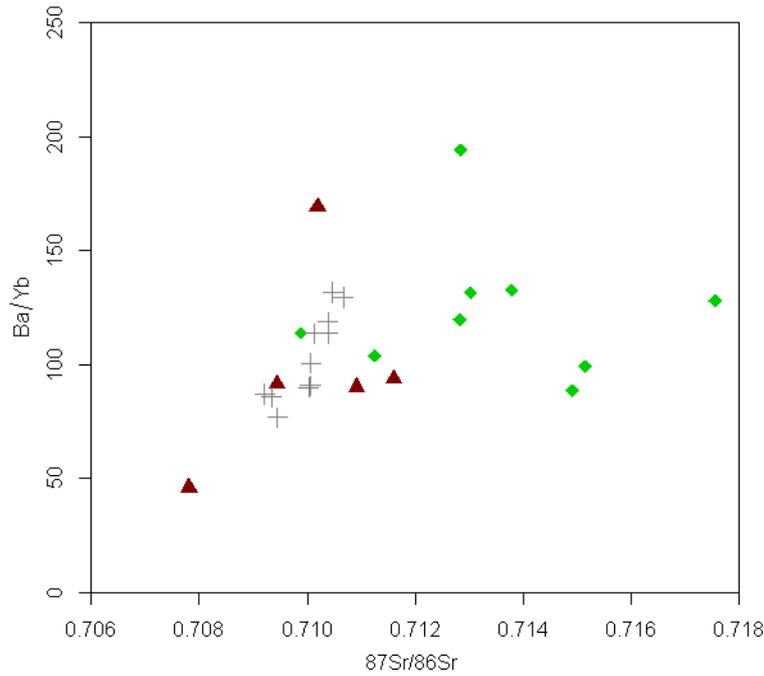


FIGURA 14. Diagrama Ba/Yb vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ según Wilson (1996). Simbología: \blacklozenge : diques de Nico Pérez-Zapicán, \blacktriangle : diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), $+$: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).
FIGURE 14. Ba/Yb vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagram according to Wilson (1996). Symbology: \blacklozenge : Nico Pérez-Zapicán dikes, \blacktriangle : Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), $+$: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

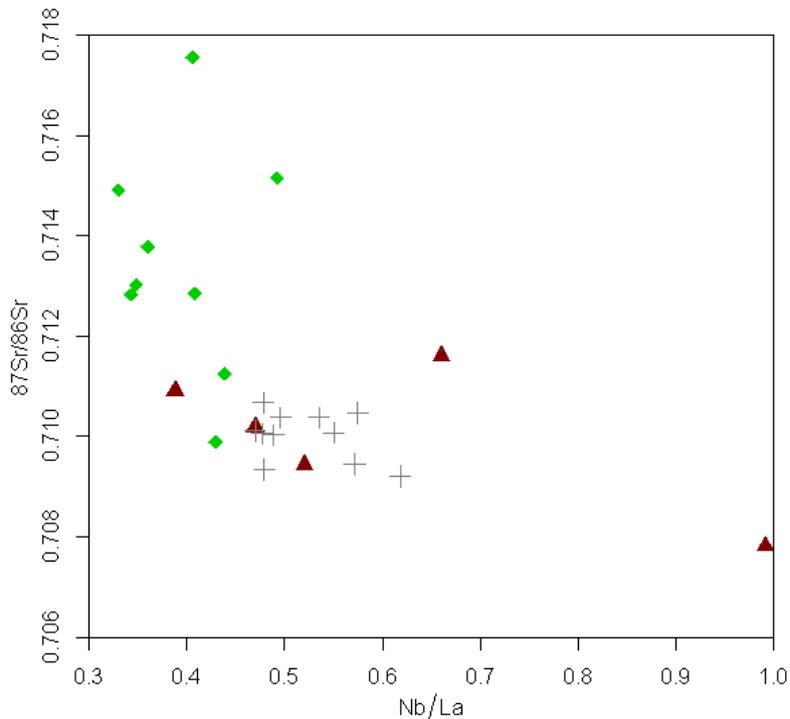


FIGURA 15. Diagrama de variación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs Nb/La combinando elementos incompatibles e isótopos. Simbología: \blacklozenge : diques de Nico Pérez-Zapicán, \blacktriangle : diques de la Formación Cuaró (tomado de Muzio *et al.* 2017), $+$: sills de la Formación Cuaró (tomado de Scaglia, 2013).
FIGURE 15. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. Nb/La variation diagram combining incompatible elements and isotopes. Symbology: \blacklozenge : Nico Pérez-Zapicán dikes, \blacktriangle : Cuaró Formation dikes (taken from Muzio *et al.* 2017), $+$: Cuaró Formation sills (taken from Scaglia, 2013).

DISCUSIÓN

Basados en la edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 158 ± 8 Ma y la propuesta de Lossada *et al.* (2014), estos cuerpos formarían parte de los estadios iniciales de la fragmentación de Gondwana. Es por eso que se tomaron como referencia los trabajos desarrollados en rocas vinculadas al mismo evento en territorio uruguayo y brasileño con el fin de establecer posibles similitudes y/o diferencias (Piccirillo *et al.* 1988, Peate *et al.* 1992, Scaglia, 2013 y Muzio *et al.* 2012, 2017).

Los valores en elementos mayores para el enjambre de diques de Nico Pérez-Zapicán de SiO_2 entre 51% y 54%, $\text{TiO}_2 < 2\%$, $\text{MgO} < 6.3\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 < 0.22\%$, $\text{Ba} < 580$ ppm (promedio 370 ppm), $\text{La} < 27.1$ ppm, $\text{Zr} < 235$ ppm, $\#\text{mg} < 46$, $\text{Sr} < 298$ ppm, La/Yb en promedio 5.75, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.95$, se encuentran en el rango de los valores obtenidos por Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2017) para la Formación Cuaró. La excepción es la relación Eu/Eu^* que muestra valores cercanos a 1 a pesar del fraccionamiento y que podría sugerir, según Drake (1975) un fraccionamiento en condiciones de alta fugacidad de oxígeno. Por otro lado, se observa una concentración levemente mayor de Rb en relación a las muestras de Piccirillo *et al.* (1988), Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2017). Esto podría deberse a que en ocasiones las altas concentraciones de Rb están dadas por una mayor contribución de materiales corticales durante la cristalización fraccionada.

Como se vio en la figura 6, todas las muestras se proyectan en el campo de los basaltos tholeíticos de intraplaca, lo cual coincide con trabajos previos y con el contexto geotectónico en el que se dio el evento distensivo mesozoico asociado a la PMP (Peate *et al.* 1992, Peate 1997; Scaglia 2013; Muzio *et al.* 2017). Por otro lado, tanto las rocas vinculadas a la Formación Cuaró como las del enjambre de diques de Nico Pérez-Zapicán se proyectan en el campo E-MORB, lo que puede indicar según Pearce (2008) un bajo grado de fusión a baja profundidad, o una fuente de manto que se enriqueció previamente a poca profundidad, ya sea durante el evento de fusión en sí o durante la evolución del reservorio mantélico (Donnelly *et al.* 2004).

De acuerdo con los diagramas bivariantes podemos distinguir que ocurren al menos dos tendencias de evolución diferentes para las muestras graficadas en las figuras 4 y 5. El comportamiento de varios elementos mayores, menores y trazas (CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , Ce, Rb, La, Zr, Ba, Y) son similares a los diques de Cuaró publicados por Muzio *et al.* (2017), lo que nos permite sugerir una afinidad petrogenética entre ambos. Muzio *et al.* (2017) habían notado dichas tendencias, lo que interpretaron como la posible intrusión mediante diferentes pulsos magmáticos, al menos dos, desde una fuente de manto enriquecido.

El aumento de SiO_2 , K_2O , Na_2O y Rb, además de estar asociado a procesos de fraccionamiento, puede ser

indicador de asimilación de materiales corticales, por lo que estos dos procesos pueden haber actuado en conjunto (procesos tipo AFC; Ryan, 1994; Wilson, 1996; Allègre, 2008).

En cuanto a los patrones de ETR, se observa un leve enriquecimiento de las LREE en relación a las HREE. Cuando se comparan con los valores de Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2017), se observa una gran similitud en los diagramas normalizados a condrita (Boynnton, 1984; Figuras 8). Por otro lado, las muestras normalizadas a manto primitivo (Sun y McDonough, 1989; Figura 9a) y a condrita (Thompson, 1982; Figura 9b) evidencian anomalías negativas en elementos como Nb, Ti, P, Ba y Sr, y enriquecimiento en elementos incompatibles móviles como el Rb. Estas características son asociadas a procesos de contaminación cortical, por lo que además del fraccionamiento magmático podrían incluirse procesos de contaminación cortical durante el ascenso y la cristalización.

Según la clasificación mencionada anteriormente de Peate *et al.* (1992) y Peate (1997) para las lavas de la PMP y los valores mostrados por el enjambre de diques de Nico Pérez- Zapicán, 1,31 a 1,85 % de TiO_2 , Ti/Y entre 241 y 270, Ti/Zr entre 46 y 59, Zr/Y entre 4 y 5,3, y relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ entre 0,709 y 0,717, se caracterizarían como magma tipo Gramado de bajo Ti.

En relación a la impronta isotópica, las muestras plotean en el rango de reservorio tipo EMII de acuerdo con el diagrama de Zindler y Hart (1986). Estos autores señalaron que los reservorios de este tipo presentan características de corteza continental y sedimentos, por lo que infieren que el reciclaje de material de la corteza por subducción ha sido el proceso principal en su evolución. En tanto, White y Hofmann (1982) sugirieron que el reservorio tipo EMII podría producirse mediante el reciclaje de la corteza oceánica y los sedimentos.

Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2012, 2017) determinaron las relaciones isotópicas de *sills* y diques pertenecientes a la Formación Cuaró, reconociendo que las relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}_i$ varían de 0,709 a 0,711 y 0,5122 a 0,5126, respectivamente. Hay coincidencia en las bajas relaciones de $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}_i$, en tanto, las relaciones iniciales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ muestran valores levemente mayores a los obtenidos por los autores mencionados anteriormente, y posiblemente se asocie a la mayor concentración Rb evidenciada en los diagramas previos, producto de procesos de contaminación cortical, lo que coincide con los valores levemente mayores de contaminación observado en la figura 14. Además, Scaglia (2013) y Muzio *et al.* (2012, 2017) suponen una génesis determinada por un magma primario que sería el producto de una fuente de manto enriquecido con una fuerte firma cortical, probablemente debido a componentes de subducción heredados y/o procesos de asimilación (Muzio *et al.* 2017). Por otro lado, la correlación observada en la figura 15 podría

significar la participación de sedimentos reciclados por subducción en la fuente o mezclados con fundidos sublitosféricos (Ivanov y Litasov, 2014) o procesos de AFC (Peate y Hawkesworth, 1996).

Según las edades publicadas para el magmatismo mesozoico en el Uruguay, estos cuerpos se habrían formado en el intervalo de tiempo comprendido entre los basaltos asociados a la Formación Gaspar (165 ± 8 Ma, de Santa Ana y Veroslavsky, 2003) y los basaltos y doleritas vinculadas a las Formaciones Arapey y Cuaró (dentro del rango de 152 a 121 Ma; Créer *et al.* 1965, de Santa Ana y Veroslavsky, 2004; respectivamente). Si bien el periodo principal de magmatismo asociado a la PMP es alrededor de los 133 a 129 Ma, hay registro en la región de basaltos y sills formados durante el Jurásico en la Cuenca Paraná de la región Argentina (Padula y Mingramm, 1968; Herbst y Santa Cruz, 1985).

En la figura 16 se puede observar las variaciones en los valores de ϵNdi y ϵSri calculados a 665 Ma propuesta por Rivalenti *et al.* (1995) y a 158 Ma calculado en este trabajo. Se observan valores menores de ϵNdi y valores mayores en ϵSri en relación a los obtenidos en Rivalenti *et al.* (1995). Los valores más elevados de ϵSri sugieren un grado de contaminación cortical mayor al indicado por Rivalenti *et al.* (1995) y Bossi y Schipilov (2007), los cuales mencionan que si existiera contaminación cortical sería muy leve.

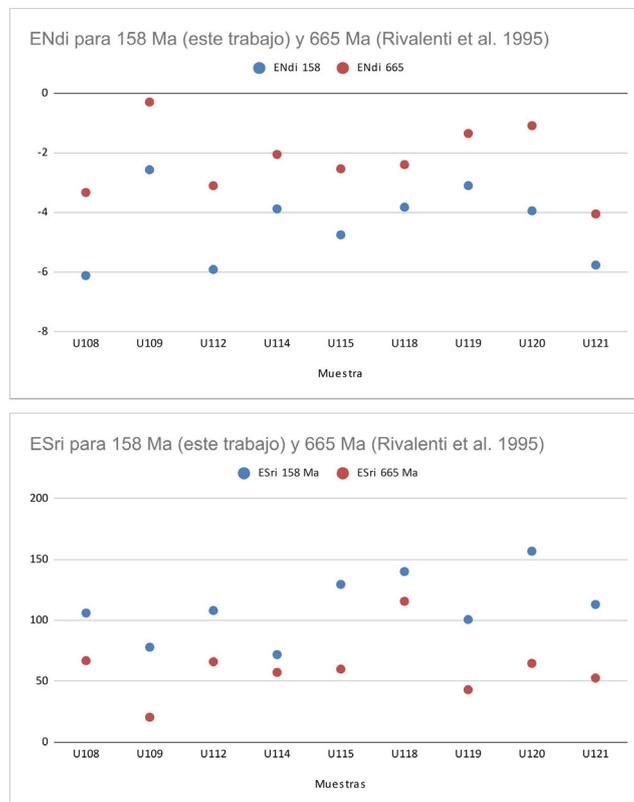


FIGURA 16. Comparación de los valores de ϵNdi y ϵSri obtenidos por Rivalenti *et al.* (1995) para una edad de formación de 665 Ma, y los calculados en este trabajo para la edad de 158 Ma.

FIGURE 16. Comparison of the values of ϵNdi and ϵSri obtained by Rivalenti *et al.* (1995) for a formation age of 665 Ma, and those calculated in this work for the age of 158 Ma.

CONCLUSIONES

A partir del reprocesamiento de los datos publicados por Rivalenti *et al.* (1995), ha sido posible concluir que la génesis del enjambre de diques Nico Pérez-Zapicán estaría relacionada con el evento que dio origen a los diques y *sills* de la Formación Cuaró en el Mesozoico. Esto es debido a su edad y al comportamiento semejante en términos de elementos mayores, trazas y relaciones isotópicas de Sr y Nd.

Basados en sus características geoquímicas e isotópicas, el magmatismo responsable de estos cuerpos se correspondería con el magma tipo Gramado de bajo Ti de la Provincia Magmática de Paraná.

Finalmente, la reinterpretación de los datos isotópicos indica una génesis vinculada a un reservorio del tipo EMII, como se ha visto en la gran mayoría de las rocas del Sur asociadas al evento distensivo regional que generó la provincia, afectado por procesos de cristalización fraccionada y asimilación de materiales corticales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bas, M. L., Maitre, R. L., Streckeisen, A., Zanettin, B., & IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology*, 27(3), 745-750.
- Bossi, J., & Schipilov, A. (2007). Rocas ígneas básicas del Uruguay (No. 552.3 (899) BOS).
- Bossi, J., Campal, N., Civetta, L., Demarchi, G., Girardi, V. A. V., Mazzucchelli, M., & Molesini, M. (1993). Early Proterozoic dike swarms from western Uruguay: geochemistry, Sr Nd isotopes and petrogenesis. *Chemical Geology*, 106(3-4), 263-277.
- Bossi, J. (1966). *Geología del Uruguay*. Montevideo: Edit. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República
- Boynton, W. V. (1984). Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In *Developments in geochemistry* (Vol. 2, pp. 63-114). Elsevier.
- Campal, N., & Schipilov, A. (1999). The eastern edge of the Rio de la Plata Craton: a history of tangential collisions. In *Basement Tectonics* 13 (pp. 33-48). Springer, Dordrecht.
- Creer, K. M., Miller, J. A., & Smith, A. G. (1965). Radiometric age of the Serra Geral formation. *Nature*, 207(4994), 282-283.
- DePaolo, D. (1988). *Neodymium isotope geochemistry: An introduction*. Springer-Verlag, New York.
- DePaolo, D. & Wasserburg, G. (1979). Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Geochim. Cosmochimica Acta* 43, p. 615-627.
- De la Roche, H. D., Leterrier, J. T., Grandclaude, P., & Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks

- using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature. *Chemical geology*, 29(1-4), 183-210.
- Drake, M. J. (1975). The oxidation state of europium as an indicator of oxygen fugacity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39(1), 55-64.
- Irvine, T. N., & Baragar, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, 8(5), 523-548.
- Ivanov, A.V. and Litasov, K.D., 2014. The deep water cycle and flood basalt volcanism. *International Geology Review*, v. 56, p. 1 – 14.
- Janoušek, V., Moyen, J. F., Erban, V., & Hora, J. (2019). *GCDkit* goes platform independent!. *Geochem. Geophys. Geosyst*, 16, 315-324.
- Lossada, A. C., Rapalini, A. E., & Betucci, L. S. (2014). Enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán, Uruguay: evidencias radimétricas y paleomagnéticas sobre su edad. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(3), 345-355.
- 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.
- Meschede, M. (1986). A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb 1bZr 1bY diagram. *Chemical geology*, 56(3-4), 207-218.
- 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.
- Muzio, R., Scaglia, F., & Masquelin, H. (2012). Petrochemistry of Mesozoic mafic intrusions related to the Paraná Magmatic Province, Uruguay. *International Geology Review*, 54(7), 844-860.
- Oriolo, S., Oyhançabal, P., Konopásek, J., Basei, M. A., Frei, R., Sláma, J., & Siegesmund, S. (2019). Late Paleoproterozoic and Mesoproterozoic magmatism of the Nico Pérez Terrane (Uruguay): tightening up correlations in southwestern Gondwana. *Precambrian Research*, 327, 296-313.
- 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.
- Oyhançabal, P., Wagner-Eimer, M., Wemmer, K., Schulz, B., Frei, R., & Siegesmund, S. (2012). Paleo-and Neoproterozoic

- magmatic and tectonometamorphic evolution of the Isla Cristalina de Rivera (Nico Pérez Terrane, Uruguay). *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), 1745-1762.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2), 201-220.
- Peate, D. W. (1997). The parana-etendeka province. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 100, 217-246.
- Peate, D. W., Hawkesworth, C. J., & Mantovani, M. S. (1992). Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, 55(1), 119-139.
- Piccirillo, E. M., Melfi, A. J., Comin-Chiaramonti, P., Bellieni, G., Ernesto, M., Marques, L. S., & Stolfa, D. (1988). Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In *Continental flood basalts* (pp. 195-238). Springer, Dordrecht.
- Piccirillo, E. M., & Melfi, A. J. (Eds.). (1988). *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico.
- Preciozzi Porta, F., Spoturno, J., Rossi, P., & Heinzen, W. (1985). Explicative memory of the geologic map of Uruguay. Esc. 1.500. 000; Memoria explicativa de la Carta Geologica del Uruguay escala 1.500. 000.
- 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: 239- 263
- Sánchez Bettucci, L., Cordani, U., Loureiro, J., Peel, E., Fort, S., & Sato, K. (2021). The Nico Pérez terrane (Uruguay) and its archean and paleoproterozoic inheritance. *Andean Geology*, 48(3), 442-471.
- Sánchez Bettucci, L., Peel, E. Oyhantçabal, P. (2010). Precambrian geotectonic units of the Río de la Plata craton. *International Geology Review*, 52: 32-50
- Sánchez Bettucci, L. (1998). Evolución tectónica del cinturón Dom Feliciano en la región Minas-Piriápolis, República Oriental del Uruguay (No. 551.7 (899) SAN).
- Scaglia Cortellezzi, F. N. (2013). Estudio petrogenético del Sill de Cuaró, departamento de Tacuarembó, Uruguay. Tesis de Maestría. *Pedeciba Geociencias*.
- Shand, S. J. (1943). Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits with a chapter on meteorites (No. 552.1 S43 1943).
- Sun, S. S., & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.
- Thompson, R. N., Dickin, A. P., Gibson, I. L., & Morrison, M. A. (1982). Elemental fingerprints of isotopic contamination of Hebridean Palaeocene mantle-derived magmas by Archaean sial. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 79(2),

159-168.

White, W. M., & Hofmann, A. W. (1982). Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution. *Nature*, 296(5860), 821-825.

Zindler, A., & Hart, S. (1986). Chemical geodynamics. *Annual review of earth and planetary sciences*, 14, 493-571.