

# **DISTRIBUCIÓN Y PETROGRAFÍA DE LOS DIQUES BÁSICOS MESOZOICOS DE LA REGIÓN DE SAN GREGORIO DE POLANCO, PROVINCIA MAGMÁTICA PARANÁ, URUGUAY.**

## **DISTRIBUTION AND PETROGRAPHY OF THE MESOZOIC BASIC DYKES OF THE SAN GREGORIO DE POLANCO, PARANÁ MAGMATIC PROVINCE, URUGUAY.**

Scaglia, F.<sup>1</sup>; Muzio, R.<sup>1</sup>; Masquelín, H.<sup>1</sup>

scagliageo@gmail.com

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de La República. Iguá 4225 C.P 11400.

### **RESUMEN**

Los eventos de fragmentación cortical desarrollados durante el Cretácico Inferior, predecesores a la apertura del océano Atlántico sur, generaron una intensa actividad magmática que cubrió gran extensión de Sudamérica (Provincia Magmática Paraná-Etendeka). La inestabilidad y ruptura de la corteza continental, además del ascenso magmático, ha quedado evidenciada por la presencia de intrusivos (diques y sills) y lavas basálticas ubicados en la porción centro-norte de Uruguay. En este sentido, se realizó un estudio petrológico del aquí denominado Enjambre de Diques de San Gregorio de Polanco (Depto. de Tacuarembó). Se realizaron mapas geológicos de semidetalle a escala 1:50.000, identificándose 17 segmentos con dimensiones máximas de 12km de longitud y 20m de ancho. Estos se concentran en cuatro sectores geográficos: Achar, San Gregorio de Polanco, La Paloma y San Jorge. Los diques son paralelos a subparalelos, con rumbos N140°-170° y N080°-110°, con un típico patrón zig-zag siguiendo antiguos lineamientos del basamento cristalino. Petrográficamente, los diques se caracterizan por plagioclasas cálcicas (labradorita y andesina), clinopiroxenos cálcicos (augita-pigeonita), minerales opacos, olivino, ocasionalmente vidrio y apatito como accesorios. A su vez, estudios de detalle de los minerales opacos (hasta 15% modal) mediante análisis por SEM y EDS permitieron su identificación como titanomagnetitas en dos poblaciones, evidenciando diferentes estadios de cristalización. Los cristales de la primera población habrían cristalizado en forma conjunta con las plagioclasas, piroxenos y olivinos, mientras que los de la segunda habrían sido producto de la disolución de los primeros, en condiciones de baja fugacidad de oxígeno y temperaturas próximas a 450°C.

Palabras claves: petrografía, diques, Mesozoico, Uruguay

### **ABSTRACT**

The tectonomagmatic events developed in the lower Cretaceous, predating the South Atlantic Ocean opening, generated an intensive magmatic activity that covered an important surface of the South American platform (Paraná-Etendeka Magmatic Province). Both the instability and rupture of the continental crust, as well as magma rising are registered by the presence of basic intrusions (dykes and sills), and lava flows located in the central-north portion of Uruguay. This paper deals with a detailed petrologic study focused on the San Gregorio de Polanco Dyke Swarm (Department of Tacuarembó). As result of semidetailed geological mapping, 17 dyke segments with 12km length and 20m width maximum have been identified. These dykes are concentrated in four main geographic zones named: Achar, San Gregorio de Polanco, La Paloma and San Jorge. The dykes define parallel to sub parallel trends, with a zig-zag pattern (N140°-170° and N080°-110°) controlled by basement lineaments. Their mineralogy includes calcic plagioclases (labradorite and andesine), calcic clinopyroxene (augite-pigeonite), opaques minerals (two populations), olivine; glass and apatite as accessories. In turn, the SEM-EDS analyses of the opaque minerals (modal 15%) of both populations allowed their classification as titanomagnetite correspondent to different crystallisation stages. The first population of titanomagnetite would correspond to the main crystallisation stage while the second one would be generated by partial dissolution of the former under low oxygen fugacity conditions and temperatures around 450°C.

**Keywords:** petrography, dykes, Mesozoic, Uruguay.

## INTRODUCCIÓN

La denominada Provincia Magmática Paraná-Etendeka (PMP-E, Peate, 1997) es considerada como una de las de mayor extensión continental a nivel mundial, con un volumen preservado de aproximadamente 1 millón de km<sup>3</sup> (Cordani & Vandoros, 1967). Su génesis está relacionada a los eventos distensivos predecesores de la apertura del Océano Atlántico Sur, desarrollados fundamentalmente durante el Jurásico superior-Cretácico inferior. La PMP-E está compuesta por derrames volcánicos de carácter bimodal y por cuerpos intrusivos (diques y *sills*) que son registros de los eventos de ruptura y fragmentación cortical que permitió el ascenso magmático hacia la superficie, dando lugar a la actividad volcánica efusiva y en muchos casos explosiva (Piccirillo & Melfi, 1988).

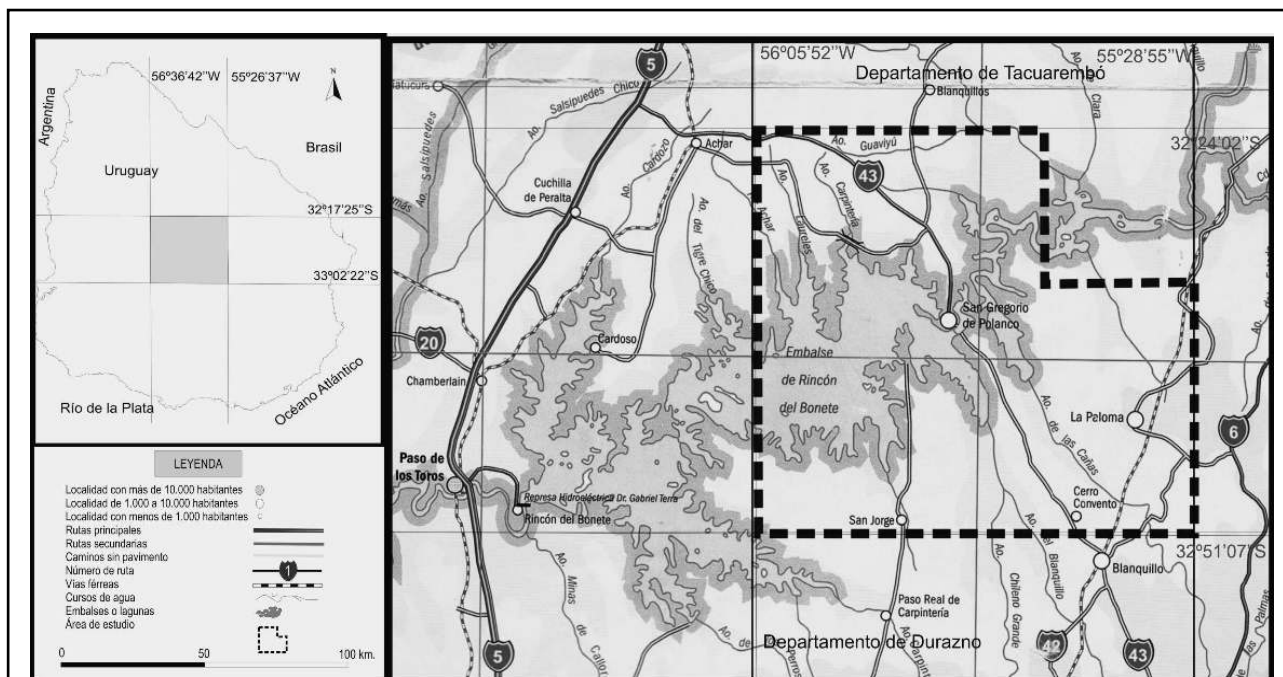
En Uruguay, el magmatismo mesozoico de la Cuenca Norte (extensión sur de la Cuenca de Paraná; De Santa Ana & Veroslavsky, 1993) está registrado por la presencia de los derrames básicos, correspondientes a la Formación Arapey (Bossi, 1966), con una extensión aproximada de 90.000 km<sup>2</sup>, y por la actividad intrusiva básica. Esta última está comprendida dentro de la Formación Cuaró (Preciozzi et al. 1985) con ocurrencia restringida a la porción centro-este del país.

Los primeros relevamientos geológicos de los diques básicos y *sills*, en conjunto con las primeras dataciones fueron realizados por Umpierre (1965) *apud* Bossi (1966). Posteriormente, Preciozzi et al. (1985), los agruparon en la unidad estratigráfica definiéndola como “*efusivas hipobisales básicas con*

*estructuras en filones y filones capa caracterizada por microgabros y doleritas de afinidad tholeítica*”. Si bien se han llevado a cabo posteriores investigaciones (Féraud et al., 1999; Bossi & Schipilov, 2007) las mismas se centran mayormente en los *sills* y diques de las regiones de Melo y Tacuarembó, siendo los menos estudiados aquellos comprendidos en la región de San Gregorio de Polanco. La poca información acerca de estos últimos comprende tan sólo mapas generales de ubicación a gran escala y muy escasos estudios petrográficos. En este sentido, se procedió al relevamiento cartográfico de los diques comprendidos en el área de estudio, realizando mapas de semidetalle a escala (1:50.000) y caracterización petrográfica incluyendo SEM - EDS.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

El área de estudio se localiza en el centro geográfico del país, abarcando la porción sur del Departamento de Tacuarembó y la porción norte del Departamento de Durazno, separadas por el lago artificial Rincón del Bonete. Sus coordenadas locales (*Datum Yacaré*) son x: 472, x':530; y: 6364, y': 6416 km, y en las coordenadas globales (UTM) se ubica entre los paralelos 32°24'02"-32°51'07"S y los meridianos 56°05'52"-55°28'55"O (FIGURANº 1). La mencionada área abarca mayormente las cartas topográficas de San Benito (J-16), San Gregorio de Polanco (J-17), La Paloma de Durazno (H-17) y parcialmente las cartas topográficas de San Jorge (J-18), Paso Ramírez (H-16) y Blanquillo (H-18), a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar.



**FIGURA Nº 1:** Mapa de ubicación del área de estudio (línea punteada) y vías de acceso a la misma.  
**FIGURE Nº 1:** Location map of the studied area (dotted line) and main access roads.

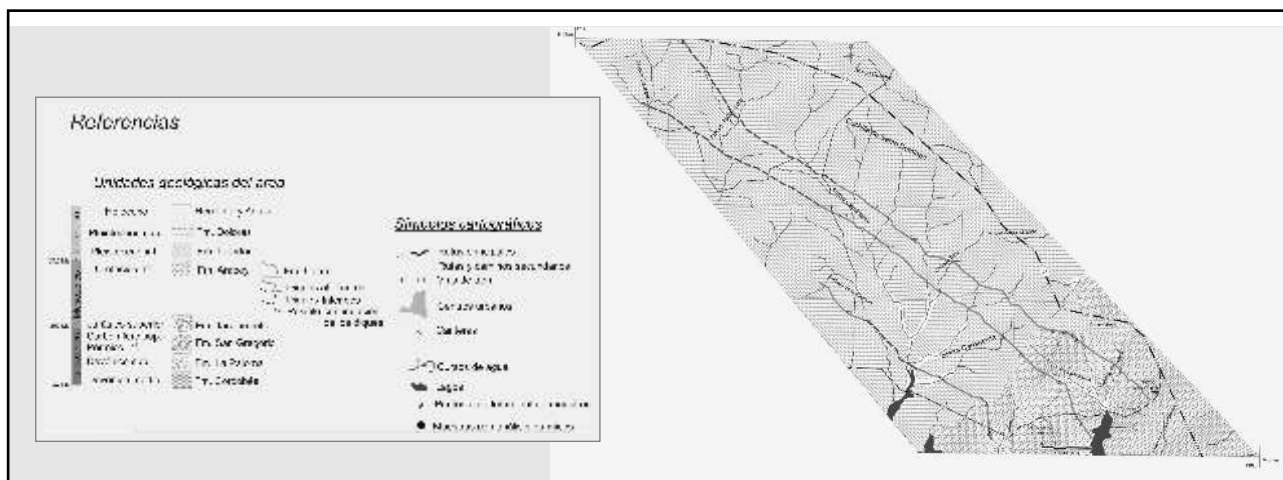
### Mapas geológicos de semidetalle

A partir de los segmentos de diques relevados que conformarían el enjambre, se procedió a la realización de mapas geológicos simplificados en las áreas de sus afloramientos. Los mismos están centralizados en la ubicación geográfica y distribución de cada uno de los segmentos de diques, indicando las litologías en las cuales intruyen. La extensión y límite de las restantes unidades geológicas presentes en el área de estudio está basada en la Carta Geológica del Uruguay (Preciozzi et al., 1985). Los diques afloran en cuatro sectores del área de estudio para los cuales se realizaron los respectivos mapas geológicos de

semidetalle. Estos sectores fueron denominados en función de la localidad con mayor jerarquía más próxima, siendo los mismos:

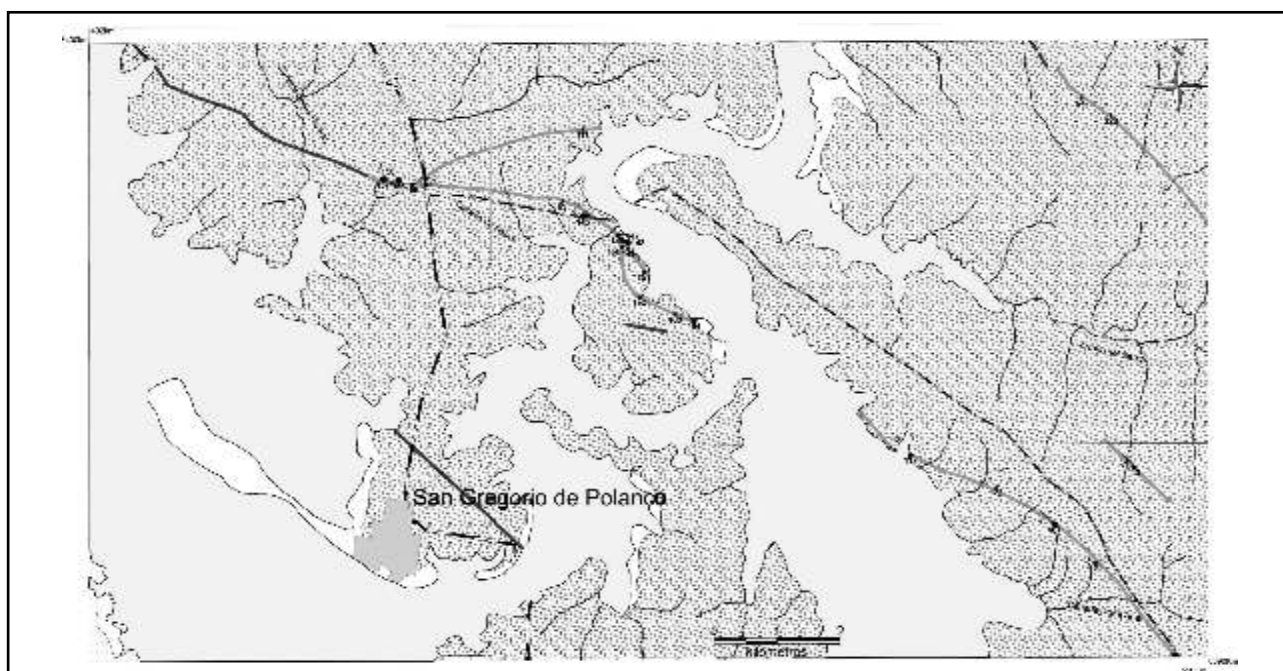
- Sector Achar (NO del área de estudio, FIGURANº 4)
- Sector San Gregorio de Polanco (región central del área de estudio, FIGURANº 5)
- Sector San Jorge (SO del área de estudio, FIGURANº 6)
- Sector La Paloma (SE del área de estudio, FIGURANº 7)

Las referencias de los mapas se presentan en la FIGURANº4 siendo común para todos.



**FIGURA Nº 4:** Mapa geológico simplificado del Sector Achar (Departamento de Tacuarembó)

**FIGURE Nº 4:** Simplified geological map of the Achar Sector (Departament of Tacuarembó).



**FIGURA Nº 5:** Mapa geológico simplificado del Sector San Gregorio de Polanco (Departamentos de Tacuarembó y Durazno). Referencias, ver FIGURA Nº4.

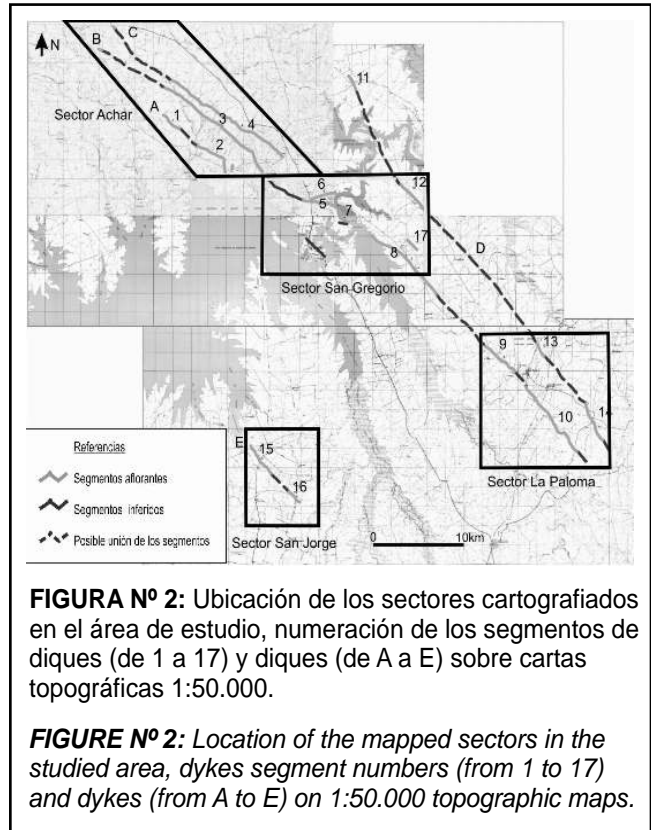
**FIGURE Nº 5:** Simplified geological map of the San Gregorio de Polanco Sector. References see FIGURE Nº4.

## Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.

En la misma se encuentran expuestas sucesiones sedimentarias Devónicas del Grupo Durazno (Bossi, 1966), Carboníferas (Formación San Gregorio; Preciozzi et al., 1985), Jurásicas (Formación Tacuarembó; Bossi, 1966) y relictos de actividad magmática Mesozoica representada por los basaltos de la Formación Arapey (Bossi, 1966) y los diques de la Formación Cuaró (Preciozzi et al., 1985). El objetivo del presente trabajo era conocer la distribución geográfica de los diques relevándose un total de 17 segmentos de diques (FIGURA N° 2), considerando como segmento a cada traza de dique aflorante.

Es así que, varios segmentos con igual rumbo han sido correlacionados entre sí como formando parte de un mismo dique de mayores dimensiones.

La posible unión de los segmentos se asignó como “diques no aflorantes” y aquellas geoformas que fueron fotointerpretadas como segmentos de diques, pero que no pudieron ser corroborados en el campo por falta de afloramientos, fueron categorizados como “diques inferidos”.

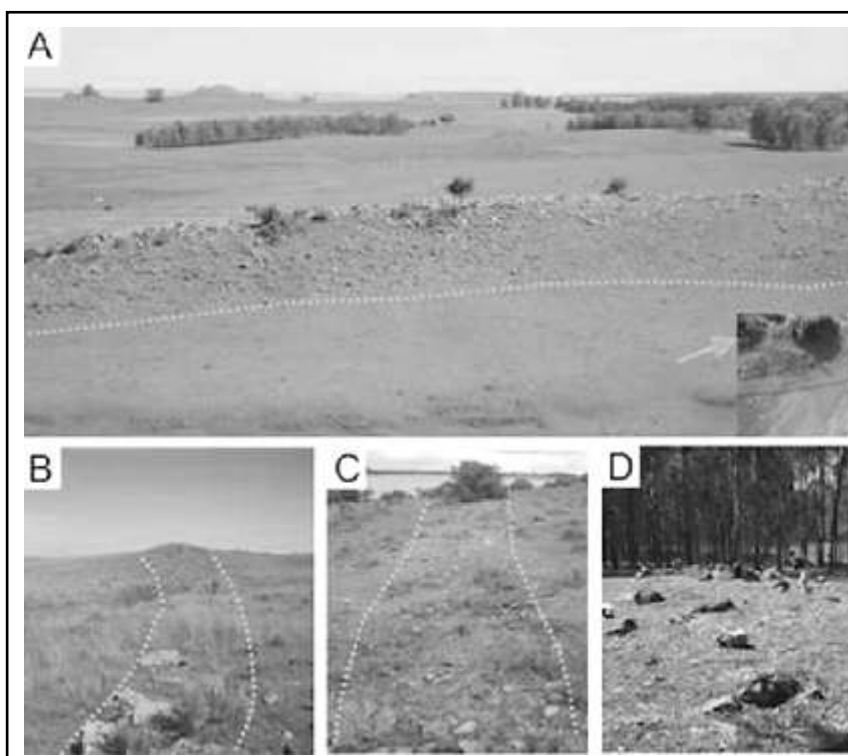


**FIGURA N° 2:** Ubicación de los sectores cartografiados en el área de estudio, numeración de los segmentos de diques (de 1 a 17) y diques (de A a E) sobre cartas topográficas 1:50.000.

**FIGURE N° 2:** Location of the mapped sectors in the studied area, dykes segment numbers (from 1 to 17) and dykes (from A to E) on 1:50.000 topographic maps.

Los diques resaltan en varios sectores del área por su geomorfología lineal pronunciada, en forma de lomas con pequeños anchos y continuas en largas distancias (FIGURA N° 3 A). En general, las lomas se encuentran parcialmente erosionadas y fracturadas por donde circulan arroyos o cañadas (FIGURA N° 3 B). Por otra parte, la existencia de canchales alineados sobre los diques fue de importante ayuda en la ubicación y muestreo de los segmentos. Los diques

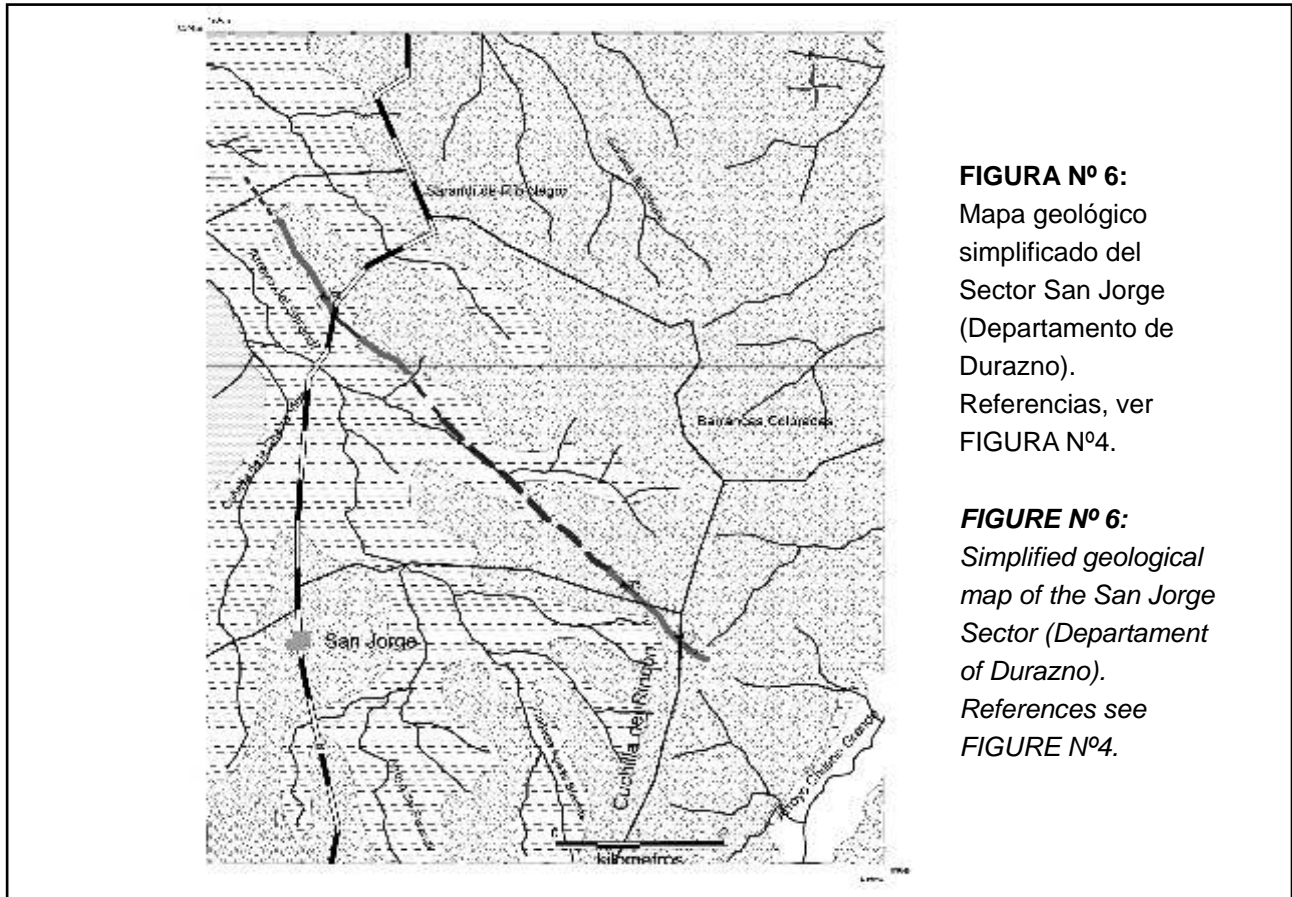
se encuentran intruyendo secuencias sedimentarias Paleozoicas (Formación Cordobés, La Paloma y San Gregorio), Mesozoicas (Formación Tacuarembó; Bossi, 1966) e incluso los basaltos de la Formación Arapey (Cretácico inferior). Por su parte, los diques están cubiertos por sedimentos cuaternarios comprendidos dentro de la Formación Libertad (Goso, 1965) y la Formación Dolores (Goso, 1972) FIGURA N° 3 C-D.



**FIGURA N° 3:** A) Geomorfología típica de los diques (Segmento 4, sector Achar) intruyendo en las areniscas de la Formación Tacuarembó. B) Dique cuya continuidad es parcialmente truncada por cursos de agua con rumbo perpendicular al dique (Segmento 3, sector Achar). C-D) Diques con afloramientos aislados cubiertos por sedimentos recientes (Segmentos 5 y 7, San Gregorio de Polanco sector).

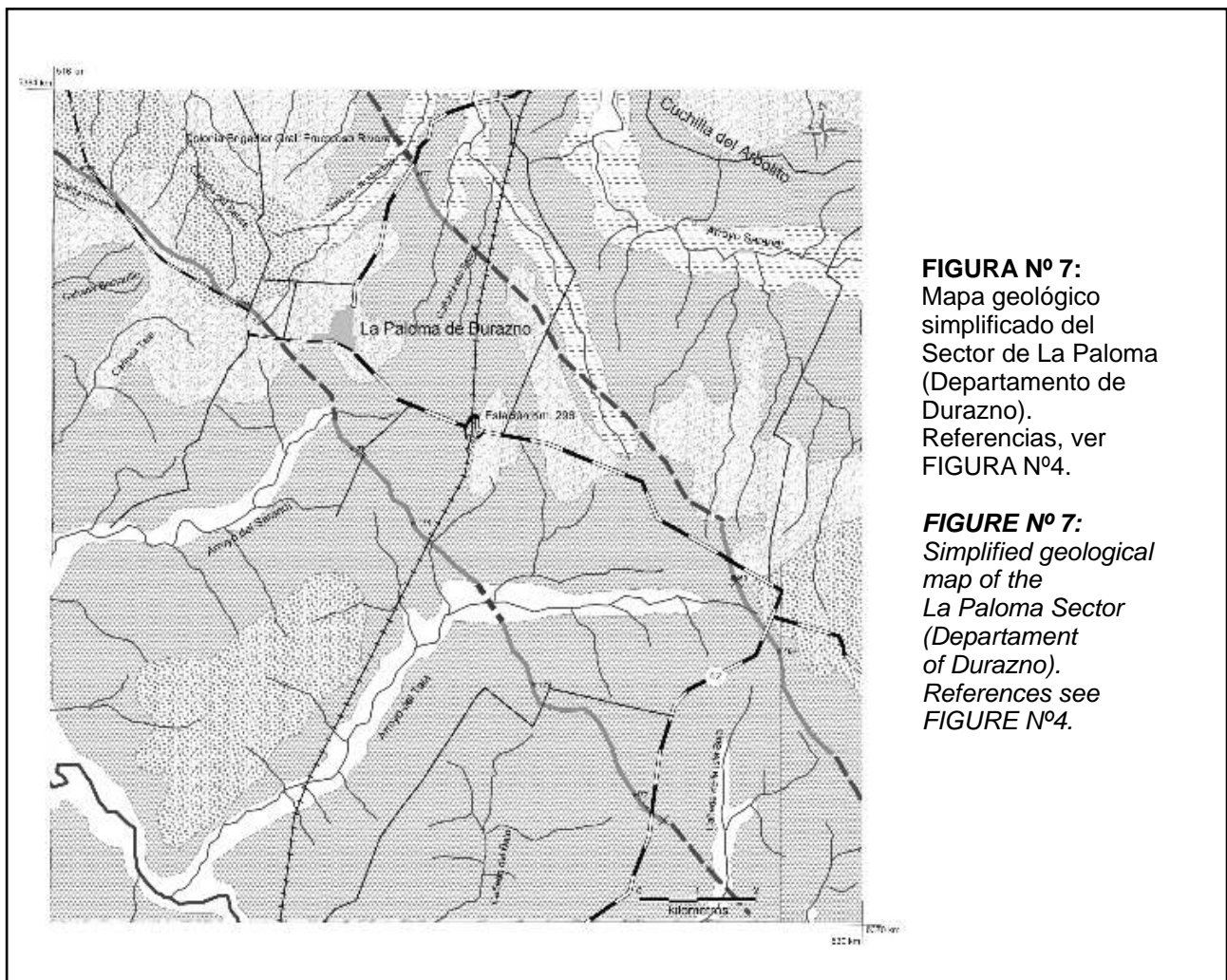
**FIGURE N° 3:** A) Typical geomorphology (Segment 4, Achar sector) of a dyke intruding the sandstones of the Tacuarembó Formation. B) Dyke cutted by streams (Segment 3, Achar sector). C-D) Dyke outcrops partially covered by recent sediments (Segments 5 and 7, San Gregorio de Polanco sector).

**Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.**



**FIGURA Nº 6:**  
 Mapa geológico simplificado del Sector San Jorge (Departamento de Durazno). Referencias, ver FIGURA Nº4.

**FIGURE Nº 6:**  
 Simplified geological map of the San Jorge Sector (Department of Durazno). References see FIGURE Nº4.



**FIGURA Nº 7:**  
 Mapa geológico simplificado del Sector de La Paloma (Departamento de Durazno). Referencias, ver FIGURA Nº4.

**FIGURE Nº 7:**  
 Simplified geological map of the La Paloma Sector (Department of Durazno). References see FIGURE Nº4.

### Características geológicas de los segmentos de diques

En base a los diferentes estudios se analizaron los diferentes segmentos relevados pueden ser unificados en base a su similitud estructural (rumbo), proximidad y características petrográficas. Esta unificación de los segmentos permitió el reconocimiento de cinco grandes diques, identificados en los mapas con las letras A, B, C, D y E. En general, los diques presentes en la región de estudio son paralelos a subparalelos, con rumbos predominantemente N140°-170° y en forma subordinada N110°. Estas últimas orientaciones son características de los diques localizados en los alrededores de San Gregorio de Polanco (FIGURAN° 4) y los segmentos allí comprendidos corresponderían a una inflexión del dique mayor B que continúa hacia la localidad de La Paloma. El dique B es el único que presenta bifurcación hacia diques de menores dimensiones, principalmente en el área de San Gregorio siendo estos de 2 a 5 km de longitud y entre 5-15 metros de ancho.

Los segmentos cartografiados alcanzan longitudes máximas de 12 km (segmentos 3 y 4) ubicándose en el NO del área de estudio y 20 metros máximos de ancho. A su vez, el enjambre de diques se destaca por un patrón tipo zig-zag de los segmentos que lo conforman cuya morfometría corresponde a dos lineamientos estructurales principales de las rocas caja (Llambías, 2008). Estas direcciones coinciden con las relevadas en el campo siendo una predominante en dirección N140°-170° y otra con dirección NE-SO.

### Clasificación de los diques

Si bien existen diversas clasificaciones de diques, en el presente trabajo se adopta la clasificación realizada por Rickwood (1990), que tiene en cuenta los parámetros de longitud y ancho de cada segmento (TABLAN°1).

Delaney & Pollard (1981) han interpretado que los segmentos se unen en profundidad formando un dique con mayor continuidad.

Nº de Segmento	Coordenadas X (Km)	Y (Km)	Ubicación en el Mapa	L (Km)	A (m)	Dique al cual pertenece	Formación en la cual intruye
1	481,900	6,405,600	Achar	2	10	A	Fm. Tacuarembó, Fm. Arapey
2	486,600	6,402,500	Achar	4	10	A	Fm. Tacuarembó, Fm. Arapey
3	486,700	6,405,800	Achar	12	20	B	Fm. San Gregorio, Fm. Tacuarembó
4	487,400	6,406,500	Achar	12	12	C	Fm. San Gregorio, Fm. Tacuarembó, Fm. Arapey
5	500,100	6,397,400	San Gregorio	5	10	B	Fm. San Gregorio
6	498,800	6,398,200	San Gregorio	3	15	B	Fm. San Gregorio
7	500,800	6,395,700	San Gregorio	2	5	B	Fm. San Gregorio
8	508,8	6,390,600	San Gregorio	8	15	B	Fm. San Gregorio
9	518,100	6,381,400	La Paloma	4	8	B	Fm. San Gregorio, Fm. La Paloma
10	523,800	6,375,100	La Paloma	8	10	B	Fm. Cordobés
11	502,100	6,409,800	Mapa General	2	12	D	Fm. San Gregorio
12	508,700	6,398,100	San Gregorio	4	15	D	Fm. San Gregorio
13	522,600	6,382,300	La Paloma	2	8	D	Fm. Cordobés
14	528,600	6,374,500	La Paloma	4	8	D	Fm. Cordobés, Fm. La Paloma
15	491,400	6,370,600	San Jorge	4	8	E	Fm. Tacuarembó
16	495,200	6,366,900	San Jorge	2	6	E	Fm. Tacuarembó
17	508,700	6,393,100	San Gregorio	2	5	C	Fm. San Gregorio

**TABLA N°1:** Características de los segmentos de los diques. Largo (L) y ancho (A)

**TABLE N°1:** Characteristics of the dyke segments. Length (L) and width (A)

## Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.

De esta manera, los diferentes segmentos relevados en el área de estudio estarían comprendidos dentro de la categoría de *diques* (*Dykes*) y si se considera la unión de los segmentos, permitiría clasificar a los diques B y D como *macro diques* (*Macro-dykes*) mientras que los restantes (A, C y E) seguirían dentro de la clase de *diques* (TABLANº 2).

NOMBRE	ANCHO (W)	LONGITUD (L)
MICRODIQUE	menor a 1 cm	menor a 2 m
MINIDIQUE	1 cm a 10 cm	2 m a 20 m
DIQUE	10 cm a 50 m	100 m a 50 km
MACRODIQUE	50 m a 250 m	50 km a 250 km
MEGADIQUE	mayor a 250 m	mayor a 250 km
DIQUE GIGANTE	mayor a 150 m con estratificaciones cumuláticas	
GREAT DYKE	Término reservado para el Dique de Zimbabwe	

**TABLA Nº 2:** Clasificación de los cuerpos intrusivos tabulares en base su longitud o ancho. Modificado de Rickwood (1990).

**TABLE Nº 2:** Classification for intrusive bodies based on their length (L) or width (W). Modified from Rickwood (1990).

### CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LOS DIQUES

Los diques identificados en los diferentes sectores del área de estudio presentan desde el punto de vista petrográfico homogeneidad mineralógica y leves variantes en cuanto a sus características texturales, de acuerdo a la sección del dique que fue analizada. Por este motivo, la caracterización petrográfica macro y microscópica será realizada en forma general para todos los diques de la región de estudio, en vez de trabajar en forma particular en cada sector.

Se analizaron petrográficamente un total de 50 afloramientos a partir de los cuales se confeccionaron 40 láminas delgadas para su estudio con microscopio.

Las muestras presentan diversas texturas: levemente porfíricas a glomeruloporfíricas de grano medio, con matriz de grano fino. Microscópicamente la matriz presenta texturas ofíticas a subofíticas, de grano medio a fino y a veces textura intersertal de grano fino. Cada una de ellas está relacionada con el sector del dique del cual se extrajo la muestra (centro o borde) y su génesis será discutida más adelante.

En base a la descripción de láminas delgadas fueron identificadas las siguientes fases minerales, en orden decreciente de abundancia y cuyas características serán descritas a continuación: plagioclasas cálcicas, clinopiroxenos cálcicos, minerales opacos, olivino; ocasionalmente vidrio y apatito como accesorios.

#### ➤ **Plagioclasas:**

Las plagioclasas son de composición predominantemente labradorita ( $An_{50}-An_{70}$ ) y de forma subordinada andesina ( $An_{30}-An_{50}$ ). Se presentan tanto como fenocristales como en la matriz. Cuando se encuentran como fenocristales, estos cristales

ocupan entre el 5 y 10 % del volumen total de la roca, siendo automorfos a subautomorfos. Frecuentemente presentan zonación oscilatoria (FIGURA Nº 9D) siendo cristales prismáticos, con tamaños promedios entre 1 – 3 mm y con maclas de albita o albita-carlsbad combinadas. En varias muestras los fenocristales están agrupados formando glomérulos de disposición radial (FIGURA Nº 9B).

Los fenocristales presentan fracturas espaciadas perpendiculares a su eje mayor, probablemente originadas en zonas de debilidad y por acción de la fuerza ejercida por el flujo magmático parcialmente cristalizado (FIGURA Nº 9A). En estas fracturas es común observar finos cristales de sericita como producto de alteración deutérica de las plagioclasas. A su vez, los cristales de plagioclasa presentan bordes corroídos, particularmente en aquellos presentes en muestras correspondientes al centro de los diques, no siendo así en las muestras próximas a los contactos con la roca caja (FIGURA Nº 9A). Es común observar orientación de los fenocristales indicando dirección de flujo magmático, no pudiéndose establecer el sentido del mismo (FIGURA Nº 9C).

Por su parte, las plagioclasas de la matriz, son de similar composición que los fenocristales, están poco fracturadas, son automorfas a subautomorfas y en su mayoría no presentan orientación preferencial. Los tamaños oscilan entre 0.5 y 1.5 mm e incluso a veces menor que 0.5mm, principalmente en las muestras de borde del dique, en la zona de contacto roca caja-doleritas. En general, se encuentran en similares porcentajes que los piroxenos (aproximadamente 40% del volumen total de la roca). En contacto con los piroxenos, las plagioclasas desarrollan texturas ofíticas a subofíticas, mientras que en contacto con vidrio (mayormente en muestras de contacto doleritas-roca encajante), conforman texturas intersertales.

➤ **Piroxenos:**

Los piroxenos son incoloros a verde pálido en luz natural, presentan extinción oblicua entre 23-46° máximo (clinopiroxenos) y de composiciones predominantemente cálcicas (augita) y subcálcicas (pigeonita), de manera subordinada. Se encuentran como fenocristales (no superando el 5% del volumen total de la roca) y mayormente en la matriz, junto con las plagioclasas (FIGURA N° 9B y E). En general, son automorfos con forma prismática a xenomorfos, con forma granular, ocupando intersticios entre las plagioclasas o englobándolas parcialmente. Los piroxenos, cuando forman parte de la matriz varían entre 0.5 y 1 mm, mientras que como fenocristales pueden llegar hasta los 2 mm. Es común la presencia de maclas de Carlsbad y en ciertos cristales se observan opacos en los planos de clivaje.

Los clinopiroxenos han sido clasificados como augita, que ocupa aproximadamente el 30-35% y pigeonita que ocupa tan sólo entre 5-10% del volumen total de la roca e incluso no observándose en varias muestras. Esta última se diferencia de la augita por presentar menor valor del ángulo 2V (menos de 20°), cristales límpidos, bordes claros y por la partición (001) levemente curvada. Es de destacar la presencia de exsolución de augita en cristales subautomorfos de pigeonita (FIGURA N° 9F).

➤ **Minerales opacos**

Estos minerales corresponden a entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Si bien existe una variación en el tamaño de los cristales, estos pueden subdividirse básicamente en dos poblaciones (FIGURA N° 10D). La primera se compone por secciones automorfas rómbicos, rectangulares o cuadrados (FIGURA N° 10E y F), con tamaños máximos de 0.5 mm y en ciertos casos se observa que los cristales grandes de magnetita ocupan los espacios intersticiales pudiendo desarrollar solo parcialmente su forma euhedral. Es común observar

formas esqueléticas en los mismos, probablemente como consecuencia de reacción con el líquido magmático residual (FIGURA N° 10B). La segunda población de minerales opacos muestra secciones cuadradas, rómbicas o circulares, de tamaños que varían entre 0.1 a 0.3 mm, alojándose en fracturas y planos de clivaje de los fenocristales (FIGURA N° 10C) o en espacios intergranulares. Los minerales opacos poseen distribución uniforme, no observándose zonas con concentración de estos en las muestras.

➤ **Olivino:**

Este mineral ocurre generalmente formando fenocristales automorfas, alterados parcialmente en los bordes o en su totalidad a iddingsita (color pardo a rojizo) y a celadonita (verde a amarillo claro) en el centro de los cristales (FIGURA N° 10A). Esta última sólo aparece en cristales que hayan sido completamente alterados. En aquellos cristales que han sido alterados se reconoce la forma original de los cristales de olivino. Los cristales de olivino corresponden sólo a un 4% del volumen total de la roca y alcanzan tamaños promedios de 1.5 mm. Suelen presentar bordes con golfos de corrosión.

➤ **Vidrio:**

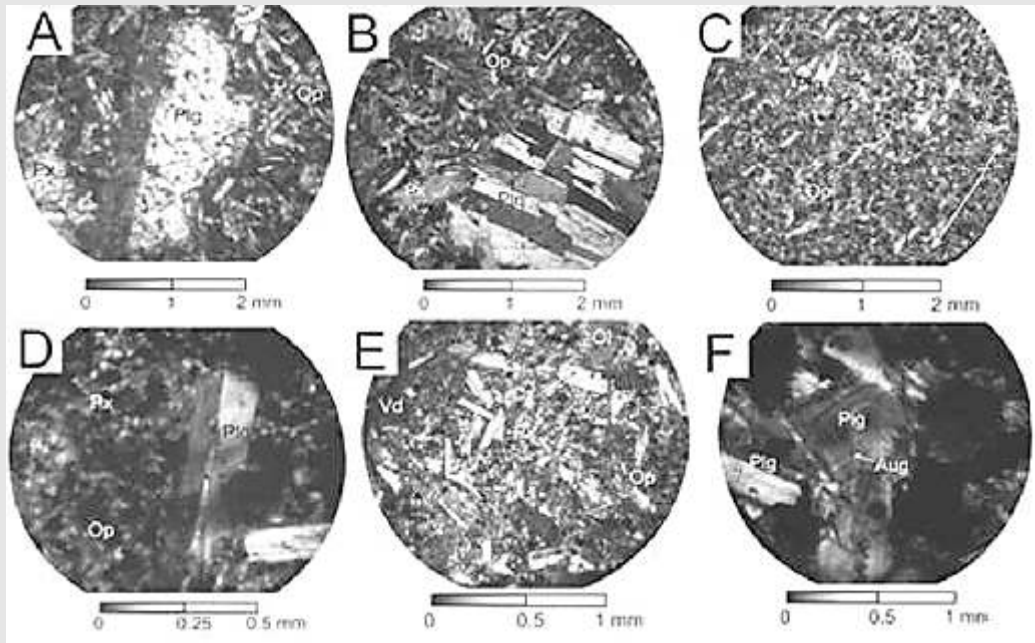
Esta fase ocupa entre el 3 y 5% del volumen total de la roca, encontrándose el mayor contenido de vidrio en las muestras obtenidas del contacto dolerita-roca caja (FIGURA N° 10E y F). La textura que desarrolla con otros minerales es de tipo intersertal, no observándose el desarrollo de esferulitas u otras texturas asociadas a procesos de desvitrificación.

➤ **Apatito:**

Estos cristales aparecen como cristales muy pequeños (aprox. 0.1 mm), de secciones hexagonales y prismáticas ocupando cerca del 1% del volumen total de la roca.

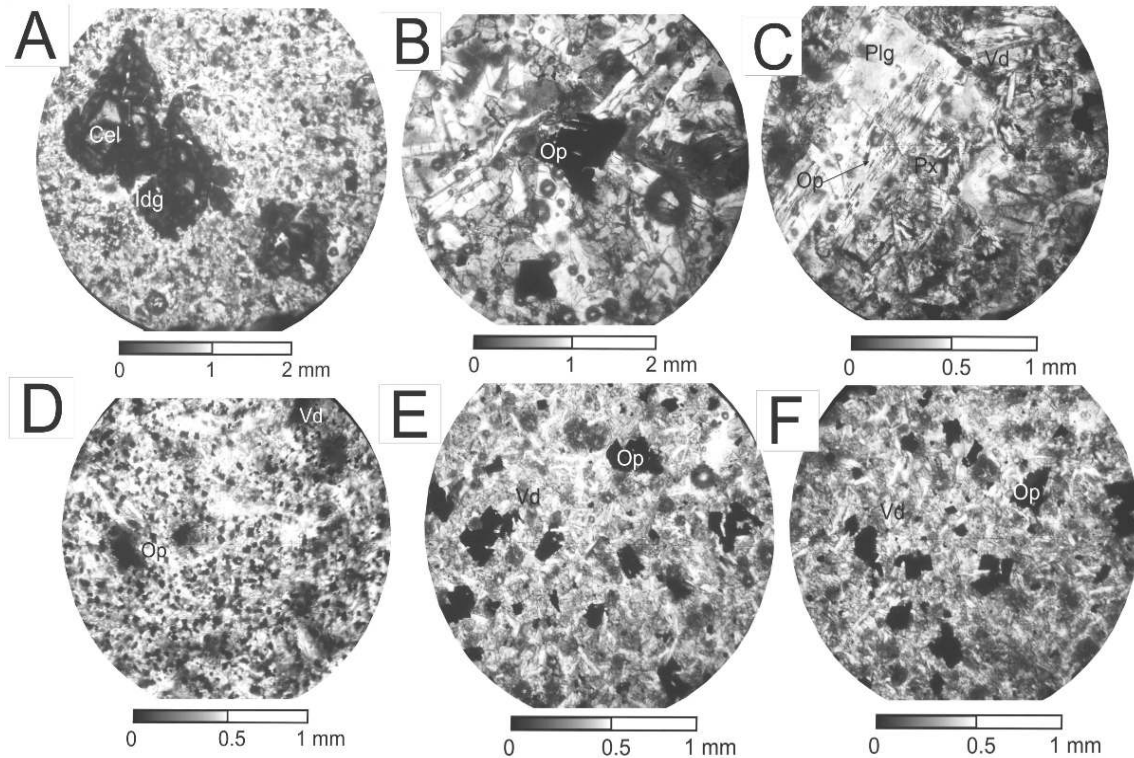


**Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.**



**FIGURA Nº 9:** A) Fenocristal de labradorita con fracturas perpendiculares a su eje mayor. Polarizadores cruzados. B) Glomérulos de labradorita inmersos en una matriz ofítica. Polarizadores cruzados. C) Fenocristales de plagioclasa (Labradorita) orientados. La flecha blanca indica dirección de flujo magmático. Polarizadores cruzados. D) Fenocristal de plagioclasa con zoneamiento oscilatorio, las zonas claras corresponden a composiciones más sódicas (Andesina). Polarizadores cruzados. E) Textura porfírica con matriz ofítica. Los fenocristales de plagioclasas y olivino están orientados al azar. Polarizadores cruzados. F) Cristal de Pigeonita con *lamellae* de exsolución de augita. Polarizadores cruzados. Referencias: Plagioclasas (Plg), Piroxenos (Px), Olivino (Ol), Opacos (Op), Vidrio (Vd).

**FIGURE Nº 9:** A) Phenocrysts of labradorite with fractures perpendicular to the major axis. Cross-polarized light. B) Labradorite glomerules in ophitic matrix. Cross-polarized light. C) Phenocrysts of plagioclase (labradorite) with orientation. The white arrow indicates magmatic flow direction. Cross-polarized light. D) Plagioclase with oscillatory zoning, the light areas correspond to sodic compositions (Andesine). Cross-polarized light. E) Porphyritic texture in subophitic groundmass. The plagioclase and olivine phenocrysts are randomly oriented. Cross-polarized light. F) Crystal of pigeonite with augite exsolution lamellae. Cross-polarized light. References: Plagioclase (PLG), Pyroxene (Px), Olivine (Ol), Opaque (Op), Glass (Vd).



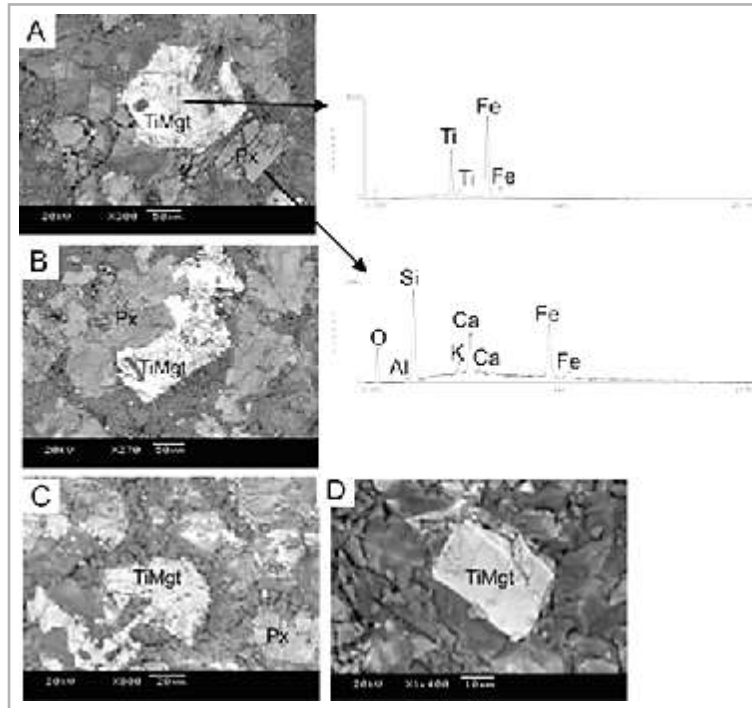
**FIGURA Nº 10:** A) Fenocristal de olivino parcialmente alterado a iddingsita en los bordes. Luz polarizada plana. B) Titanomagnetita esquelética de la primera población. Luz polarizada plana. C) Titanomagnetitas en planos de clivaje de fenocristal de plagioclasa. Luz polarizada plana. D) Distribución uniforme de cristales de titanomagnetitas. Luz polarizada plana. E) Predominancia de titanomagnetitas con formas esqueléticas. Luz polarizada plana. F) Titanomagnetitas inmersas en una matriz predominantemente intersertal. Luz polarizada plana. Referencias: Plagioclasas (Plg), Piroxenos (Px), Opacos (Op-Titanomagnetita), Vidrio (Vd).

**FIGURE Nº 10:** A) Olivine phenocrysts partially altered to iddingsite. Plane-polarized light. B) Skeletal titanomagnetite population. Plane-polarized light. C) Inclusions of titanomagnetite in cleavage planes of plagioclase phenocrysts. Plane-polarized light. D) Uniform distribution of titanomagnetite crystals. Plane-polarized light. E) Predominance of titanomagnetites with skeletal forms. Plane-polarized light. F) Titanomagnetites in intersertal groundmass. Plane-polarized light. References: Plagioclase (PLG), Pyroxene (Px), Opaque (Op-titanomagnetite), Glass (Vd).

### Microscopio Electrónico de Barrido

Con el fin de realizar un estudio más detallado de los minerales opacos, se seleccionaron muestras representativas de los diques, en base a descripciones petrográficas, para ser analizadas con el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) con Espectrómetro de Energía Dispersiva Acoplado (EDS). Los criterios en la selección de muestras fueron los siguientes: variación en el tamaño de los opacos, porcentaje, morfometría y relaciones de contacto con las fases silicáticas (FIGURA Nº 11). Los minerales opacos de las dos poblaciones fueron identificados como Titanomagnetitas cuya fórmula química es  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ .

**Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.**



**FIGURA Nº 11:** A) Titanomagnetita con sección rómbica (primera población) englobando parcialmente fenocristal de Augita. Imagen BSE. Observe los espectros (EDS) de la Titanomagnetita, Augita y Pigeonita característicos. B) Titanomagnetita con sección rectangular a cuadrada, con bordes corroídos, englobando parcialmente fenocristal de Augita. Imagen BSE. C) Titanomagnetitas con formas esqueletales. Imagen BSE. D) Titanomagnetitas con secciones geométricas definidas correspondientes a la segunda población. Referencias: Titanomagnetita (TiMgt), Piroxenos (Augita-Pigeonita).

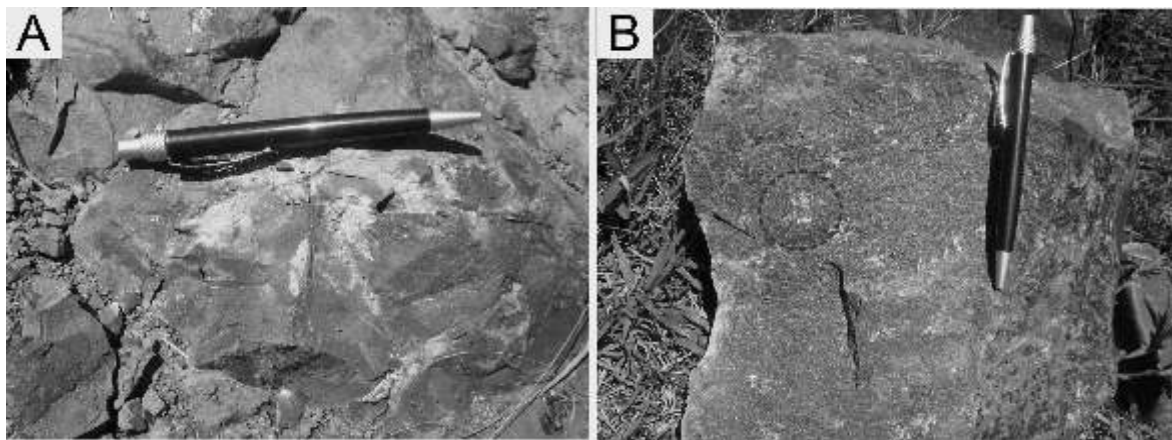
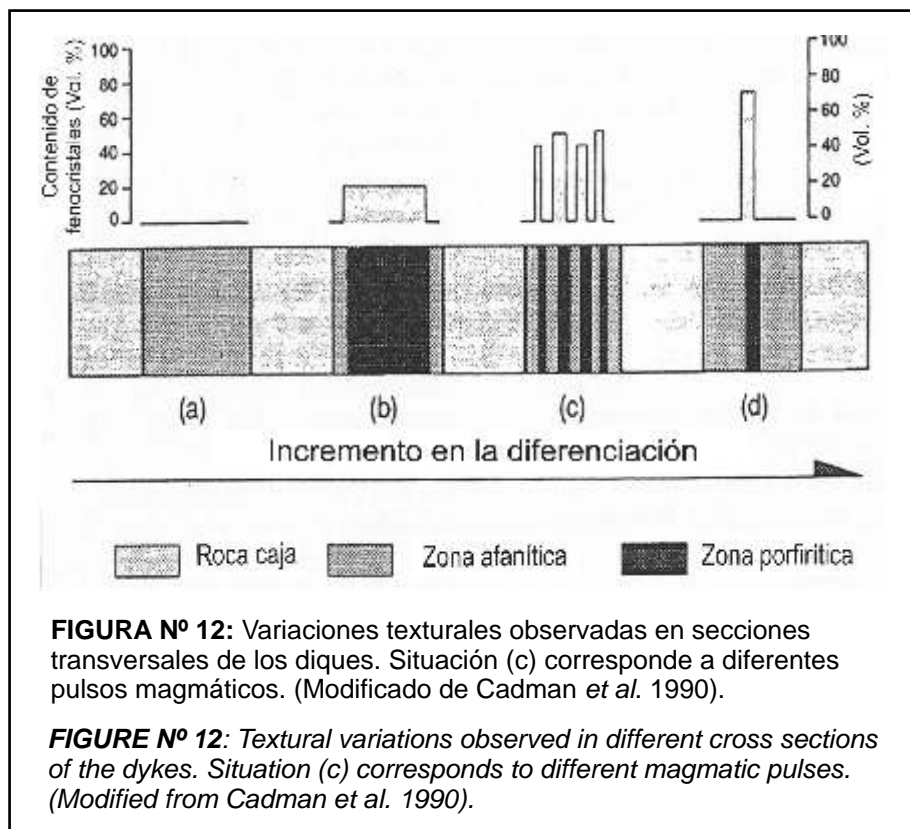
**FIGURA Nº 11:** A) Titanomagnetites with rhombic sections (first population) and an embayed augite phenocryst. BSE image. Observe the spectra (EDS) of titanomagnetite, augite and pigeonite characteristics. B) Titanomagnetite with rectangular to square sections, with corroded borders. BSE image. C) Titanomagnetite with skeletal geometry. BSE image. D) Titanomagnetites (second population) with geometric sections partially preserved. References: Titanomagnetite (TiMgt), Pyroxene (augite-pigeonite).

## DISCUSIÓN

En base a los diferentes segmentos de diques estudiados se presentan a continuación las posibles ingerencias a partir de la petrografía, mineralogía y texturas. Las variaciones texturales de los diques podrían ser atribuidas a la variación de la tasa de flujo (*flowage differentiation*) propuesta por Komar (1976) representada en la FIGURA Nº 12. Se trata de un fenómeno en el cual los fenocristales son transportados hacia la parte central del dique (donde el flujo magmático es mayor) alejándose de esta

manera de las zonas de menor flujo (bordes del dique). Por otra parte, en las muestras próximas al contacto con la roca caja, se encuentran fenocristales (en muy bajas proporciones) que habrían sido retenidos por un rápido aumento de la viscosidad del magma. De esta manera, dichos fenocristales no serán desplazados sino que son englobados en una matriz hipocristalina conformada mayoritariamente por plagioclasa, piroxeno y vidrio.

La situación observada en los distintos diques estudiados corresponde a la situación b de la FIGURA N° 12. Cadman et al. (1990) interpretaron a la anterior distribución de los fenocristales como resultado de breves períodos de tiempo de flujo rápido durante el emplazamiento, seguido por un extenso período de estancamiento y solidificación, siendo la distribución de los fenocristales un registro del transcurso del flujo dentro del dique (FIGURA N° 13).



**FIGURA N° 13:** A) Dolerita equigranular de grano fino (borde del dique). B) Dolerita con textura glomérulo porfírica. El círculo en línea punteada muestra glomérulo de fenocristales inmersos en una matriz de grano fino (centro del dique).

**FIGURE N°13:** A) Fine-grained equigranular dolerite (edge of the dyke). B) Glomeroporphyritic dolerite. Circle shows glomerules of phenocrysts in fine-grained matrix (center of the dyke).

Por otra parte, en base a estudios petrográficos comparativos entre las muestras extraídas del centro y del borde del dique, se reconoce claramente un mayor tamaño de los cristales en aquellas correspondientes al centro del dique respondiendo a dos situaciones termodinámicas distintas. En el caso del centro de los diques la temperatura disminuye paulatinamente, y por ende aumenta la viscosidad del magma gradualmente. En el caso de los bordes de los diques: la rápida disminución de la temperatura del magma (producto del contacto entre el magma y las rocas caja con menor temperatura) provoca un brusco

aumento de su viscosidad causando elevadas tasas de nucleación con poco crecimiento.

La presencia y elevado porcentaje de formas esqueletales en los cristales de titanomagnetita, la presencia de fenocristales de plagioclasa y olivino con bordes y golfos de corrosión, fenocristales de plagioclasa con zonación oscilatoria e incluso parcialmente alterados a sericita son claras evidencias de que la mayor concentración de fluidos ocurrió en el centro de los diques (Hibbard, 1995; Rickwood, 1990). Esto se explicaría por un rápido

## Distribución y petrografía de los diques básicos mesozoicos de la región de San Gregorio de Polanco, Provincia magmática Paraná, Uruguay.

aumento de la viscosidad del magma en el borde del dique debido al fuerte contraste de temperaturas entre el magma y las rocas de caja. Este rápido aumento de viscosidad en ambos bordes del dique actuaría como "pared" poco permeable que provocarían la migración y retención del fundido residual y fluidos en la zona central del dique. Por otro lado, la concentración de fluidos en la porción central del dique habría tenido un lapso de tiempo importante como para permitir su reacción con los minerales cristalizados tempranamente. Posteriormente con la disminución gradual de la temperatura habría ocurrido la cristalización de la segunda población de titanomagnetitas en los últimos estadios de cristalización magmática y condiciones de baja fugacidad de oxígeno al igual que la primera población (Guilbert & Park, 1986).

El proceso de desmezcla en estado sólido (por ejemplo de la augita en la pigeonita), es común en rocas intrusivas e hipoabisales durante el enfriamiento de los cuerpos, separándose lamelas ricas en calcio en una matriz pobre en calcio (Sial & McReath, 1984). Su presencia en los diques estudiados, tanto en la matriz como en fenocristales exhibiendo efectos de exsolución, sugiere que son soluciones sólidas metaestables a bajas presiones y temperaturas.

### CONCLUSIONES

En síntesis, se enumeran a continuación las conclusiones del presente trabajo respecto al Enjambre de diques básicos de San Gregorio de

#### Polanco:

1) Se identificaron 17 segmentos de diques con dimensiones máximas de hasta 12 km y anchos de hasta 20m, que se concentran en cuatro sectores: Achar, San Gregorio de Polanco, La Paloma y San Jorge. La unión de los diferentes segmentos permite inferir que el enjambre de diques consta de 5 grandes diques con longitudes máximas de 60 km.

2) Los diques son paralelos a subparalelos, con rumbos predominantemente N140°-170 y en forma subordinada N80°-110°. Este último *trend* es característico de los diques concentrados en los alrededores de la localidad de San Gregorio de Polanco

3) Las muestras obtenidas del centro de los diques y aquellas del borde presentan diferentes texturas, cuya génesis está vinculada a situaciones termodinámicas distintas.

4) La caracterización petrográfica de los diques esta dada por las siguientes fases minerales (en orden decreciente de abundancia): plagioclasas cálcicas (Labradorita predominantemente y Andesina en forma subordinada), clinopiroxenos cálcicos (Augita-Pigeonita), minerales opacos y relictos de olivino; ocasionalmente vidrio y apatito como accesorios.

5) La información obtenida por SEM y EDS indicó

que los minerales opacos de las dos poblaciones corresponden a Titanomagnetita.

6) La presencia de titanomagnetitas que comprenden básicamente dos poblaciones: (1) de formas esqueléticas y (2) de secciones rómbicas, cuadradas y hexagonales (cristales octaédricos), evidencia que su cristalización ha ocurrido en diferentes estadios.

7) En base a los resultados obtenidos se plantea la siguiente secuencia de cristalización para los diques del área de estudio:

a) Cristalización de olivino, plagioclasa y piroxenos cálcicos.

b) Cristalización de la primera población de titanomagnetitas entre 800-600°C (Guilbert & Park, 1986). Posible cristalización simultánea con olivino, plagioclasas y piroxenos en ciertos casos.

c) Cristalización de plagioclasas y piroxenos a partir del fundido magmático residual para conformar la matriz.

d) Disolución parcial de los cristales de titanomagnetita de la primera población al reaccionar con el fluido residual.

e) Cristalización de la segunda población de titanomagnetitas a partir del Titanio contenido en el fluido y cuya fuente principal habrían sido las titanomagnetitas de la primera población (Davidson & Wyllie, 1968; Bateman, 1951). Las condiciones necesarias para la cristalización de esta segunda generación serían reductoras (baja fugacidad de oxígeno) y próximas a 450°C (Guilbert & Park, 1986).

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) por financiar el proyecto FCE2007-038. A los revisores del artículo por las sugerencias y aportes que contribuyeron a la mejora del mismo.

### BIBLIOGRAFÍA

- BATEMAN, M. (1951). **The formation of late magmatic oxide ores**. Economic Geology. N° 46, p.404-426.
- BOSSI, J. (1966). **Geología del Uruguay**. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, pp. 460.
- BOSSI, J.; SCHIPILOV, A. (2007). **Rocas ígneas básicas del Uruguay**. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo. 2<sup>da</sup> edición. p. 109-129.
- BROWN, G. (1967). **Basalts**. En: Hess, H. & Poldervaart, A. (Eds.). Interscience Publishers, New York, pp. 103.
- CADMAN, A.; TARNEY, J.; PARK, R. (1990). Intrusion and crystallization features in Proterozoic dyke swarms. In: **Mafic Dykes and Emplacement Mechanisms**. Parker, A; Rickwood, P; Tucker, D. (Eds.). Balkema, Rotterdam, p. 13-25.
- CORDANI, U.; VANDOROS, P. (1967). Basaltic rocks of

- the Paraná basin, En: Bigarella, R, Becker, R; Pinto, J. (Eds.). **Problems in Brazilian Gondwana Geology**, p. 207-231.
- DAVIDSON, A.; WYLLIE, P. (1968). **Opaque oxide minerals of some diabase-granophyre associations in Pennsylvania**. Economic Geology. N° 63, p. 950-960.
- DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G. (1993). Cronoestratigrafía de las secuencias paleozoicas de la Cuenca Norte Uruguaya (borde sureste de la Cuenca de Paraná). **I Simposio sobre Cronoestratigrafía da Bacia do Paraná. Rio Claro**. Resúmenes, p. 41-43.
- DELANEY, P.; POLLARD, D. (1981). Deformation of host Rocks and flow of magma during growth of minette dikes and breccia-bearing intrusions near Ship Rock, New Mexico. United States. **Geological Survey Professional Paper 1202**.
- FÉRAUD, G.; BERTRAND, H.; MARTÍNEZ, M.; URES, C.; SCHIPILOV, A. & BOSSI, J. (1999). 40Ar/39Ar age and geochemistry of the southern extension of Paraná traps in Uruguay. **Actas II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Córdoba**. p. 57-59.
- GOSO, H. (1965). **El Cenozoico en el Uruguay**. Instituto Geológico de Uruguay, Ed. Mimeogr., pp. 12.
- GOSO, H. (1972). **El Cuaternario uruguayo**. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos. Ed. Mimeogr., pp. 12.
- GUILBERT, J.; PARK, C. (1986). **The Geology of Ore Deposits**. New York. W. Freeman & Company, pp. 985.
- HIBBARD, M. (1995). **Petrography to petrogenesis**. University of Nevada, Reno. Prentice Hall (Ed.), pp. 523.
- KOMAR, P. (1976). Phenocryst interactions and the velocity profile of magma flowing through dikes or sills. **Geological Society of America**. Bulletin 87, p. 1336-1342.
- PICCIRILLO, E.; MELFI, A. (1988). **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. Universidade de Sao Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico Publishers, pp. 600.
- PRECIOZZI, F.; SPOTURNO, J.; HEINZEN, W.; ROSSI, P. (1985). **Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000**. DINAMIGE-MIEM. Montevideo, pp. 90, 2 figuras, 1 mapa.
- RICKWOOD, P. (1990). The anatomy of a dyke and the determination of propagation and magma flow directions. En: **Mafic Dykes and Emplacement Mechanisms**. Parker, A; Rickwood, P; Tucker, D. (Eds.). Balkema, Rotterdam, p. 81-101.
- SIAL, A.; MCREATH, I. (1984). **Petrología ígnea**. Volume 1. SBG. Bureau Gráfica Editora/CNPq, Salvador. *J. Petrology*, 3, p. 342-532.