

## CARACTERIZACIÓN PETROGENÉTICA DEL MACIZO ALCALINO VALLE CHICO (KI - URUGUAY), POR MEDIO DEL ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE CIRCONES

### PETROGENETIC CHARACTERIZATION OF THE VALLE CHICO ALKALINE MASSIF USING ZIRCON MORPHOLOGY ANALYSIS

**Rossana Muzio**

Departamento de Geología, INGEPA, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, C.P. 11400, Montevideo. e-mail: rossana@fcien.edu.uy

**Antonio C. Artur**

Departamento de Petrología e Metalogenia, IGCE, UNESP, Av. 24 A 1515, CP 178, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil. e-mail: acartur@rc.unesp.br

#### RESUMEN

El Macizo Alcalino Valle Chico se localiza en el Departamento de Lavalleja y corresponde a un complejo plutono-volcánico de edad Cretácico Inferior. Estudios petrográficos, geoquímicos e isotópicos realizados en estas unidades permitieron caracterizar al magmatismo como de tipo alcalino, relacionado a los eventos tectónicos mesozoicos. El presente estudio de tipología del circón, realizado en muestras representativas del macizo, corrobora el modelo genético indicando, además, elevadas temperaturas para el inicio de la cristalización.

Palabras-clave: tipología de circón, rocas alcalinas, Cretácico, Uruguay.

#### ABSTRACT

The Valle Chico Alkaline Massif is located in the Lavalleja Department and corresponds to a plutono-volcanic complex of Early Cretaceous age. Recent petrographic, geochemical and isotopic data have characterized the magmatism as being of alkaline type, related to the Mesozoic tectonics. Zircon typology data obtained from representative samples are concordant with the genetic model established by other methods, confirming also high initial crystallization temperatures.

Key-words: zircon typology, alkaline rocks, Cretaceous, Uruguay.

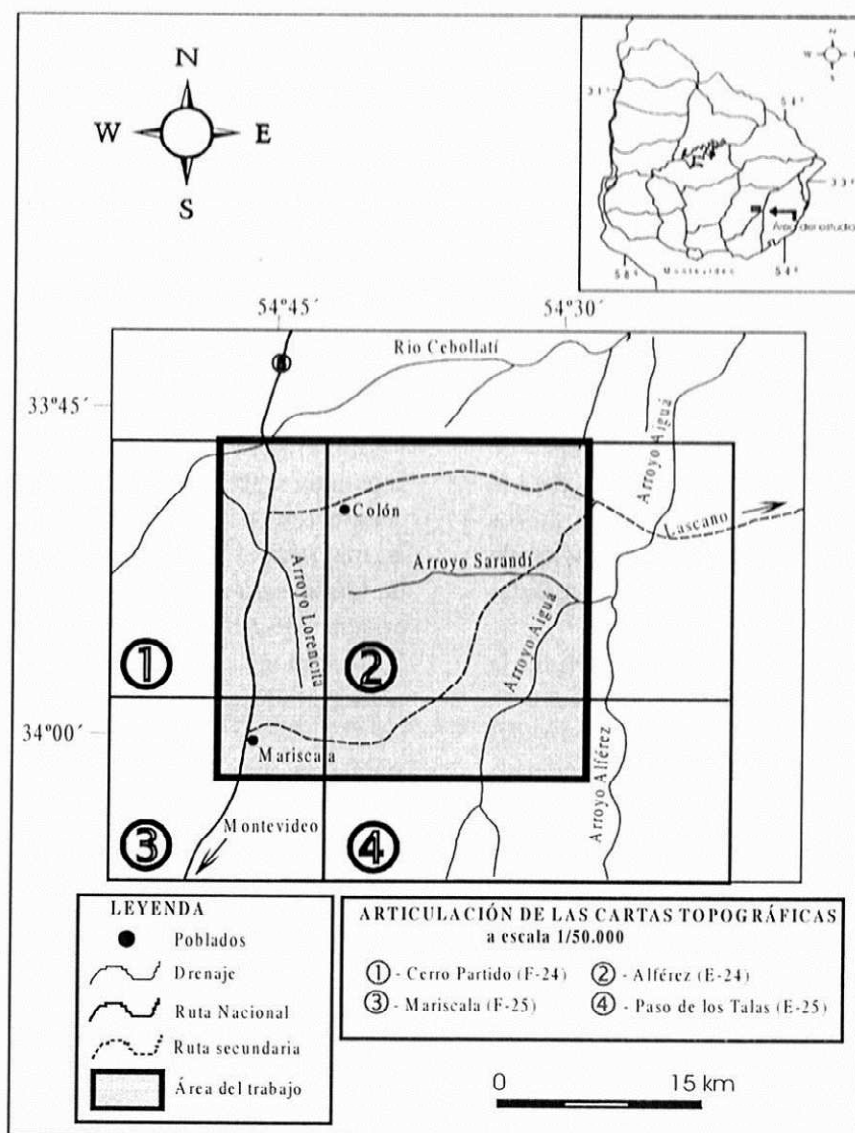
#### INTRODUCCIÓN

El Macizo Alcalino Valle Chico (MAVC) está localizado geográficamente en el sector Este del Departamento de Lavalleja, en la región sureste de Uruguay, aproximadamente a 200 km de Montevideo. El área aflorante del mismo es próxima a los 250 km<sup>2</sup>, con forma groseramente sub-circular orientada según NNE y delimitada entre los paralelos 33°45' - 34°00'S y los meridianos 54°30' - 54°45'W (Figura 1). Geotectónicamente está asociado al conjunto de intrusiones alcalinas que bordean a los derrames volcánicos toleíticos de la Cuenca del Paraná. Dentro de este contexto y vista la importancia del magmatismo alcalino en términos petrológicos y económicos, fueron realizados varios trabajos de detalle incluyendo estudios geológico-petrográficos, geoquímicos e isotópicos los cuales permitieron caracterizar en forma detallada los procesos evolutivos relacionados con este macizo (Muzio & Artur, 1998; Muzio *et al.*, 1999, Pirelli, 1999; Muzio, 2000). El presente trabajo discute los resultados obtenidos por medio del análisis

morfológico de los circones de muestras representativas del MAVC como contribución complementaria al conocimiento geológico evolutivo del mismo y presenta, además, una previsión desde el punto de vista económico ya que este tipo de rocas constituyen fuentes potenciales de Nb, Ti, U e ETR, entre otros elementos.

#### SÍNTESIS GEOLÓGICA DEL MAVC

El MAVC comprende las unidades magmáticas (volcánicas y plutónicas) descritas y delimitadas originalmente por Bossi *et al.* (1966) y posteriormente definidas formalmente como Formación Valle Chico por Ferrando & Fernández (1971). En términos generales, las rocas encajantes del macizo están representadas, en la porción NW, por gneisses biotíticos, micaesquistos y anfibolitas del Grupo Lavalleja y, al W y SW, por rocas granitoides tardi- a pos-orogénicas. Las rocas básicas de la Formación Puerto Gómez (Bossi, 1966) están en contacto en la porción NNE, SW y en la región centro-este, mientras que el borde E,



**Figura 1 - Localización geográfica del área estudiada.**

**Figure 1 - Geographic localisation of the studied area.**

SE y S está cubierto por sedimentos cuaternarios y recientes, de acuerdo a los estudios realizados por Muzio & Artur (1998) y Muzio (2000). La estructuración interna del MAVC comprende cinco variedades petrográficas identificadas a nivel de campo, coherentes con el reconocimiento geológico realizado por Pirelli (1999). En función de las relaciones de campo y de las características petrográficas, estas unidades litológicas fueron agrupadas por Muzio (2000) en tres asociaciones magmáticas principales, correspondientes a distintas etapas evolutivas del macizo. La Asociación Plutónica reúne sienitas y cuarzo sienitas de granulación fina hasta gruesa y sienogranitos de granulación media a gruesa. Los principales minerales máficos presentes en estas litologías son hornblenda/arfvedsonita, aegirina-augita y, ocasionalmente, biotita. La Asociación Volcánica

Porfírica está constituida esencialmente por cuarzo traquitas porfíricas y por los derrames de riolitas porfíricas de la Formación Arequita (Bossi, 1966). La Asociación de Diques Porfíricos Tardíos está constituida por diques de composición traquítica y riolítica, ambos porfíricos, que ocurren según la dirección N20-40E y N60W. Estos dos sistemas de diques representan los conductos alimentadores de los derrames traquíticos de la Asociación Volcánica Porfírica y de la Formación Arequita, respectivamente (Muzio, 2000). Tanto las rocas volcánicas como los diques porfíricos presentan una matriz rica en vidrio con fenocristales de ortosa/sanidina y, subordinadamente, de cuarzo. Entre las principales características petrográficas presentes en las diferentes litologías del macizo merecen destaque aquellas correspondientes a alteraciones hidrotermales/deutéricas. Entre ellas, evidenciadas

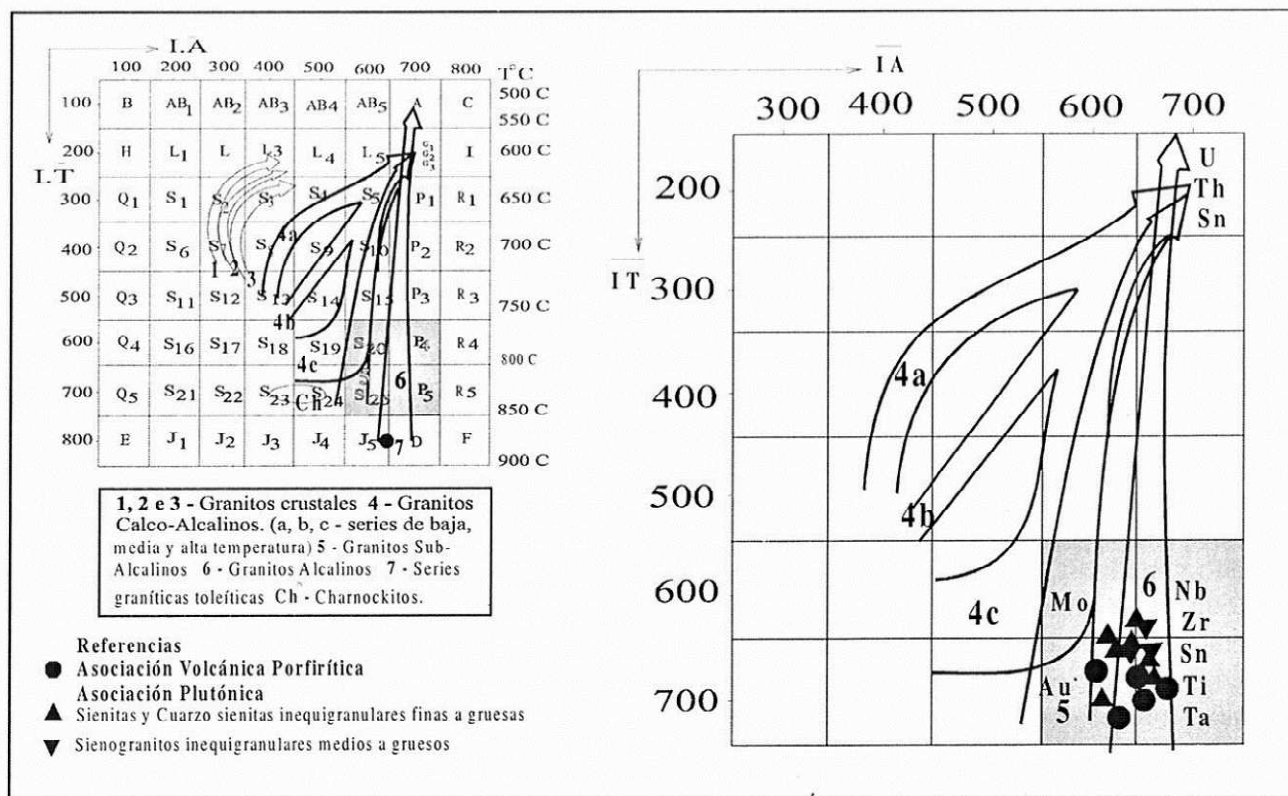
principalmente en las fácies petrográficas plutónicas, se destacan: los crecimientos gráficos/micrográficos de cuarzo + feldespato alcalino + plagioclasa en los bordes de cristales de feldespato; presencia ocasional de cavidades miarolíticas; sustitución de plagioclasa por feldespato potásico (microclina); abundante presencia de mesoperititas y bordes de feldespatos potásicos (ortosa) albitizados.

## METODOLOGÍA

Debido a la necesidad de separar cristales de circón para fines geocronológicos, fue considerado objeto de interés el estudio morfológico de los cristales, como contribución para la definición de las tendencias evolutivas de las rocas magmáticas integrantes del macizo.

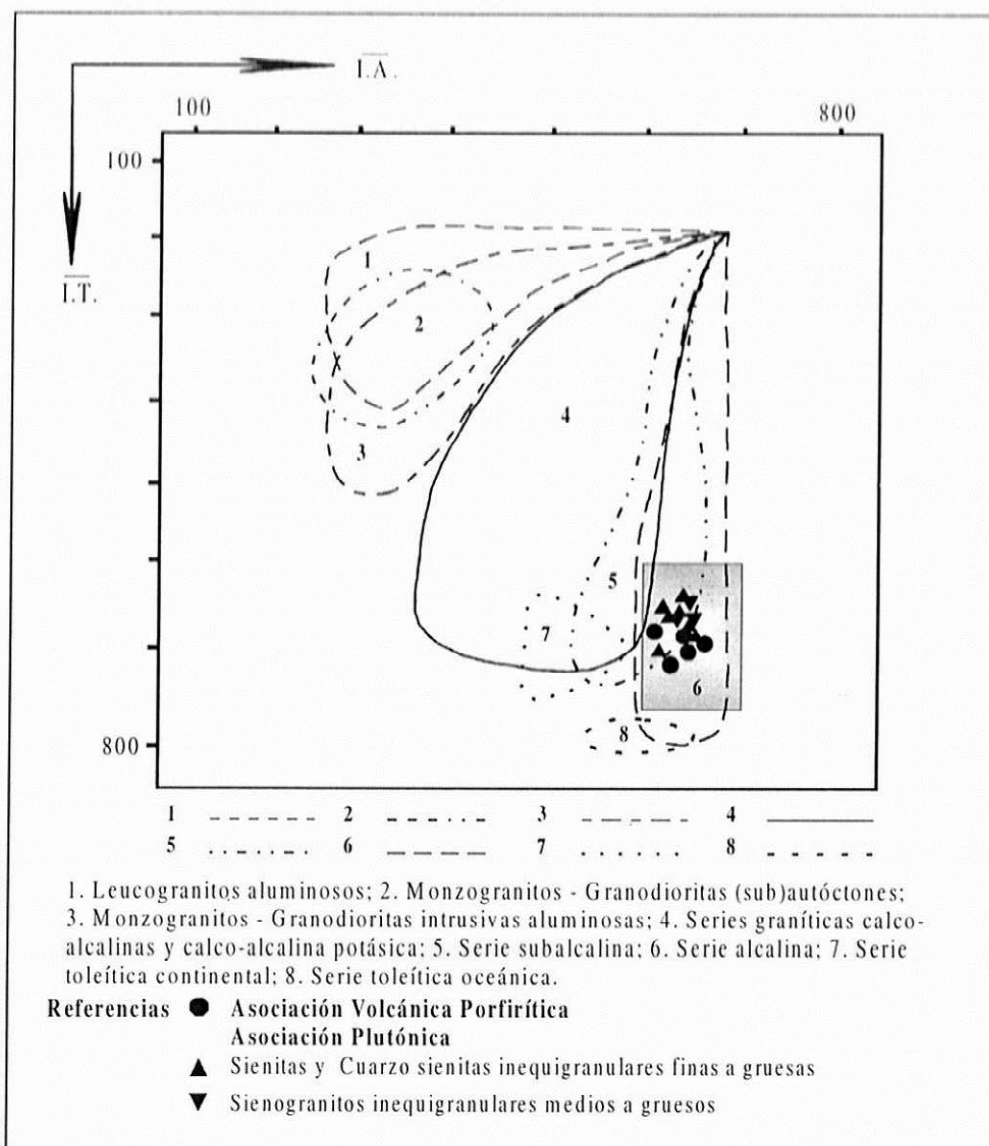
De esta forma, con base en la metodología desarrollada por Pupin (1976; 1980), consistente en el estudio estadístico de la morfología de los cristales de circón, la cual fue posteriormente perfeccionada en el Laboratorio de Tipología de Zircón del IGCE de la UNESP - Campus de Rio Claro (Wernick, 1986), fueron seleccionadas 15 muestras (10 plutónicas y 5 volcánicas), correspondientes a las principales unidades magmáticas del macizo, identificadas en el área.

La preparación de las muestras fue realizada siguiendo las técnicas sugeridas por Pupin (1980) y adoptadas por el laboratorio de la UNESP, con excepción de las etapas de molienda y pre-concentración del circón las cuales fueron realizadas en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias (Montevideo). De esta forma, la preparación constó de las siguientes etapas: quiebra de aproximadamente 3 kg de material por muestra con martillo y, posteriormente, con molino de mandíbulas; tamizado del material resultante en el intervalo 0.177mm y 0.053mm; concentración de los minerales pesados utilizando bateas mecánicas, separador magnético y electromagnético tipo Frantz; separación del circón de otros minerales pesados no magnéticos utilizando bromoformo; confección de láminas con minerales en grano (*frotis*) con los cristales de circón concentrados; determinación de las morfologías de circón con auxilio de microscopio petrográfico. La determinación de las características tipológicas y no tipológicas de las diferentes poblaciones de circón analizadas fueron obtenidas por medio de la observación y descripción de por lo menos 100 cristales bien formados por muestra analizada. Por último, fue realizado el tratamiento estadístico de los datos y la presentación de los resultados en los diagramas clasificatorios y evolutivos propuestos por Pupin (1980, 1988).



**Figura 2 -** Clasificación de las poblaciones de circón del Macizo Alcalino Valle Chico en el diagrama tipológico de Pupin (1976), modificado por Wernick (1986).

**Figure 2 -** Classification of the zircon populations from the Valle Chico Alkaline Massif according to the typological diagram of Pupin (1976), modified by Wernick (1986).



**Figura 3** - Clasificación de las poblaciones de circón del Macizo Alcalino Valle Chico en el diagrama tipológico de Pupin (1988).

**Figure 3** - Classification of the zircon populations from the Valle Chico Alkaline Massif according to the typological diagram of Pupin (1988).

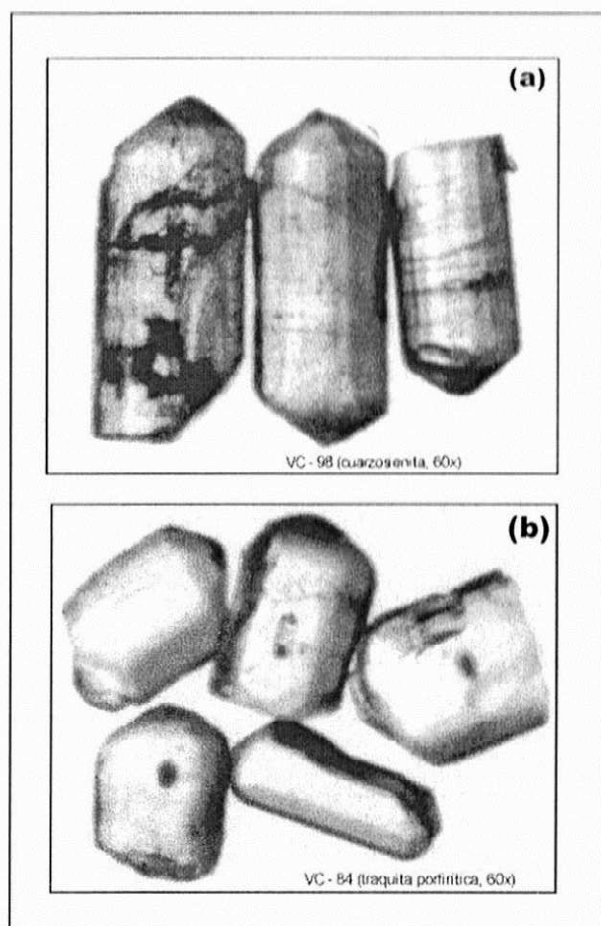
## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Fueron analizadas un total de 15 muestras de diferentes litologías pertenecientes al Macizo Alcalino Valle Chico: 5 muestras correspondientes a las cuarzo sienitas inequigranulares medias a gruesas, 2 muestras de cuarzo sienitas inequigranulares finas a medias (fácies de borde de la intrusión) y 3 muestras de sienogranitos inequigranulares medios a gruesos, todas pertenecientes a la denominada Asociación Plutónica, así como 5 muestras de traquitas pertenecientes a la Asociación Volcánica Porfírica (Foto 1). En el caso de las muestras de la Asociación Volcánica Porfírica, a pesar de la preparación de reiteradas cantidades de material, no siempre fue posible la obtención de 100 cristales

de circón de buena calidad para las respectivas determinaciones.

Las características tipológicas generales de las muestras analizadas (tipos morfológicos, índices medios A y T, valores de T.E.T., temperatura de cristalización y clasificación tipológica) están resumidas en la Tabla I. Los índices medios A y T están representados en las Figuras 2 y 3. La representación gráfica correspondiente a la distribución de las tendencias evolutivas tipológicas (T.E.T.) de las diferentes unidades petrográficas analizadas está expresada en la Figura 4. Además de los datos tipológicos, fueron observadas las características no tipológicas (microfracturamientos, presencia de zoneamientos, presencia de inclusiones y color de los cristales).

Las poblaciones de circón de todas las muestras



**Foto 1** - Principales poblaciones de circones correspondientes a las muestras de (a) cuarzo sienitas y (b) traquitas porfíricas, del Macizo Alcalino Valle Chico.

**Plate 1** - Main zircon populations correspondent to (a) quartz syenites and (b) porphyritic trachytes, from the Valle Chico Alkaline Massif.

analizadas, representando a las principales fácies petrográficas del Macizo Alcalino Valle Chico, se concentran en la porción basal del dominio de la serie alcalina, según el diagrama de clasificación propuesto por Pupin (1980) (Figura 2). Un comportamiento similar en la distribución de las muestras se verifica también en el diagrama de clasificación modificado por Pupin (1988), de la Figura 3. Se destaca, en el caso de este último

diagrama, que principalmente las rocas de la Asociación Plutónica se sitúan en la zona de superposición entre el dominio de las series alcalina y subalcalina.

Los índices medios T, presentados por las poblaciones de circon (Figura 2, Tabla I), se sitúan en un intervalo restricto, entre 650 y 750. Estos altos índices revelan elevadas temperaturas de cristalización para las rocas del Macizo Alcalino Valle Chico estimadas, según dicho diagrama físico-químico, entre 800 y 850°C, con temperaturas de cristalización un poco más elevadas para las rocas de la Asociación Volcánica Porfírica. Se observa que los valores de temperaturas obtenidos para la Asociación Volcánica Porfírica son más compatibles, aparentemente, con temperaturas de cristalización de rocas subvolcánicas.

Los índices medios A, a semejanza de los índices T, también definen un intervalo de variación restricto, limitado entre 600 y 680, sin permitir una clara distinción de comportamiento entre las dos asociaciones litológicas en relación a este índice. Este hecho indica que el conjunto de muestras analizadas presenta poca variación en la relación alúmina/álcalis, predominando el elevado contenido de los últimos.

La naturaleza alcalina de estas rocas está marcada también por la presencia de subtipos morfológicos P en todas las muestras y de la cara adicional (301) en cristales de circon, indicando esta última tenores relativamente elevados en potasio.

Las tendencias evolutivas tipológicas (T.E.T.) de las muestras analizadas, representadas en la Figura 4, resaltan que, en términos generales, se encuentran bien definidas en relación a la serie subalcalina y a la serie alcalina subsolvus (Pupin, 1988).

En relación a los tipos y subtipos morfológicos de circon presentes en las diferentes poblaciones analizadas, se observa que:

- los tipos de circones presentes en la Asociación Volcánica Porfírica corresponden a los tipos S y P

| Litología      | n° muestra | TIPOS MORFOLÓGICOS DE CIRCON (%) |     |     |      |      |      |     |     |      |      |      | cara 301 |
|----------------|------------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|----------|
|                |            | S10                              | S15 | S19 | S20  | S24  | S25  | J5  | P3  | P4   | P5   | D    |          |
| cuarzo sienita | VC - 065b  | -                                | -   | -   | 4.5  | 4.5  | 22.7 | -   | -   | 22.7 | 40.9 | 4.5  | presente |
| cuarzo sienita | VC - 096   | -                                | 3.5 | 0.9 | 20.0 | 0.9  | 21.0 | 0.9 | 1.8 | 25.4 | 17.5 | 7.8  | presente |
| cuarzo sienita | VC - 098   | -                                | 5.3 | 0.9 | 14.2 | -    | 20.5 | 0.9 | 2.6 | 16.5 | 27.6 | 11.6 | presente |
| cuarzo sienita | VC - 102   | -                                | -   | -   | 10.9 | 3.6  | 23.1 | -   | 6.0 | 17.0 | 31.7 | 7.3  | -        |
| cuarzo sienita | VC - 105   | -                                | 4.3 | -   | 5.7  | 4.3  | 43.4 | -   | -   | 5.7  | 26.1 | 4.3  | presente |
| cuarzo sienita | VC - 282   | -                                | 8.3 | -   | 17.7 | 2.0  | 28.1 | -   | -   | 17.7 | 20.8 | 5.2  | -        |
| cuarzo sienita | VC - 288   | -                                | 1.7 | -   | 7.5  | 0.8  | 41.9 | -   | 1.7 | 17.6 | 28.7 | -    | presente |
| sienogranito   | VC - 013   | -                                | 7.2 | -   | 13.2 | -    | 21.6 | -   | 3.6 | 18.0 | 36.1 | -    | -        |
| sienogranito   | VC - 017a  | -                                | -   | -   | 15.2 | -    | 24.6 | -   | 4.2 | 12.7 | 35.6 | 7.6  | presente |
| sienogranito   | VC - 266   | -                                | -   | -   | 11.1 | 6.6  | 32.2 | -   | 5.5 | 14.4 | 24.4 | 5.5  | -        |
| traquita       | VC - 004   | -                                | -   | -   | 14.4 | 5.7  | 48.9 | -   | -   | 5.7  | 25.9 | -    | -        |
| traquita       | VC - 038   | -                                | -   | -   | 10.4 | -    | 29.1 | -   | 5.2 | 10.4 | 38.0 | 6.8  | presente |
| traquita       | VC - 052   | -                                | 1.4 | -   | 7.7  | -    | 34.3 | -   | 6.3 | 12.0 | 41.3 | -    | presente |
| traquita       | VC - 084   | -                                | 2.0 | -   | 4.8  | 3.4  | 29.1 | -   | 7.6 | 17.3 | 35.4 | -    | presente |
| traquita       | VC - 271   | -                                | -   | -   | -    | 14.4 | 31.8 | -   | -   | 2.8  | 37.5 | 14.4 | -        |

| Litología      | n° muestra | I.A. | I.T. | T.  | E.  | T.  | T °C<br>(+/- 50) | Clasif. |
|----------------|------------|------|------|-----|-----|-----|------------------|---------|
| cuarzo sienita | VC - 065b  | 637  | 650  | 500 | 600 | 700 | 800              | 5 / 6   |
| cuarzo sienita | VC - 096   | 650  | 652  | 633 | 679 | 642 | 690              | 6       |
| cuarzo sienita | VC - 098   | 657  | 665  | 633 | 648 | 657 | 693              | 6       |
| cuarzo sienita | VC - 102   | 658  | 667  | 700 | 660 | 647 | 700              | 6       |
| cuarzo sienita | VC - 105   | 600  | 678  | 600 | 650 | 629 | 700              | 5 / 6   |
| cuarzo sienita | VC - 282   | 620  | 653  | 600 | 650 | 637 | 700              | 6       |
| cuarzo sienita | VC - 288   | 650  | 678  | 650 | 670 | 639 | 800              | 5 / 6   |
| sienogranito   | VC - 013   | 658  | 633  | 633 | 657 | 662 | 790              | 6       |
| sienogranito   | VC - 017a  | 660  | 671  | 700 | 645 | 659 | 700              | 6       |
| sienogranito   | VC - 266   | 643  | 669  | 700 | 656 | 628 | 700              | 6       |
| tracuita       | VC - 004   | 629  | 684  | -   | 628 | 582 | 825              | 5 / 6   |
| tracuita       | VC - 038   | 660  | 675  | 700 | 650 | 656 | 700              | 6       |
| tracuita       | VC - 052   | 678  | 686  | 681 | 660 | 654 | 825              | 6       |
| tracuita       | VC - 084   | 657  | 658  | 678 | 678 | 646 | 805              | 6       |
| tracuita       | VC - 271   | 650  | 720  | -   | 700 | 627 | 700              | 6       |

Tabla I - Características tipológicas de los diferentes tipos morfológicos de circones del Macizo Alcalino Valle Chico.

Table I - Typological features of the different morphological types of zircons of the Valle Chico Alkaline Massif.

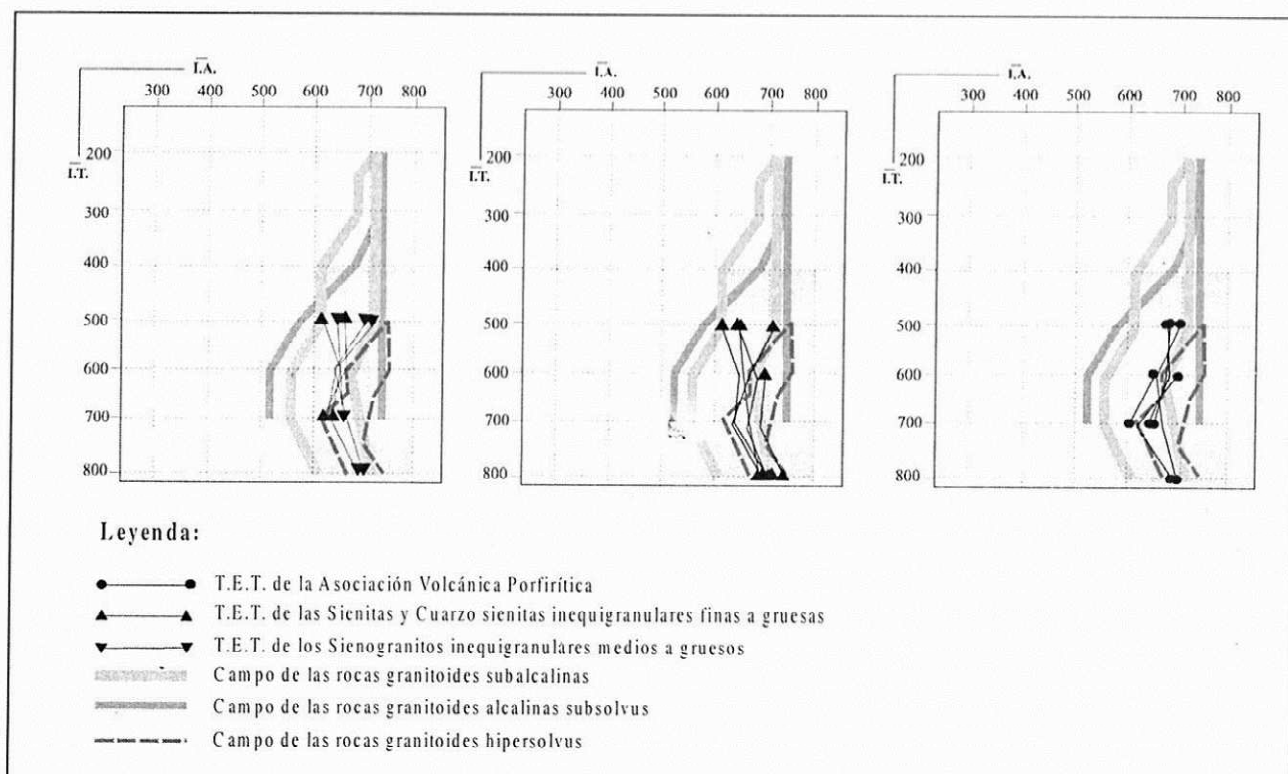


Figura 4 - Tendencia Evolutiva Tipológica (T.E.T.) de las rocas del Macizo Alcalino Valle Chico según el diagrama de distribución de Pupin (1988).

Figure 4 - Typological Evolutive Trend (T.E.T.) of the Valle Chico Alkaline Massif lithologies according to the distribution diagram of Pupin (1988).

y, subordinadamente en dos muestras, al tipo D, predominando los cristales con estabilidad de cristalización próxima a los 850°C;

- los tipos y subtipos morfológicos de circones en las muestras estudiadas de la Asociación Plutónica son también restrictos, presentando entre 5 y 10 tipos diferentes, con concentración de estos cristales de circón en 2 o 3 subtipos predominantes ( $S_{20}$ ,  $S_{25}$  y  $P_5$ ).

El carácter alcalino expresado por estas litologías a través de la morfología de los circones analizados es resaltado también petrográficamente por la presencia de anfíbol y clinopiroxeno alcalino a nivel modal (arfvedsonita y aegirina augita) y por la presencia de acmita normativa.

Las características no tipológicas observadas en las diferentes fácies volcánicas y plutónicas descritas están referidas a los siguientes aspectos

petrográficos: forma de los cristales; frecuencia de zoneamientos y microfracturación; color; así como, presencia y tipos de inclusiones.

Las muestras descritas tanto para la Asociación Volcánica Porfírica como para la Asociación Plutónica presentan dos formas de cristales de circón: euhedrales y subhedrales.

Los cristales de circón de las rocas volcánicas porfíricas presentan claro predominio de las formas euhedrales, con formas subhedrales subordinadas, a pesar de las reducidas dimensiones de los cristales. Estos son incoloros y límpidos, sin zoneamientos y, ocasionalmente, con presencia de inclusiones circulares o elongadas con vidrio, en la región del núcleo del cristal o paralelas al eje C. Estas características reflejan un medio de cristalización saturado en  $\text{ZrSiO}_4$ , lo que junto a la presencia ocasional de microfracturas de contracción en los bordes de los cristales, sería indicativo de procesos de crecimiento rápido con baja tasa de nucleación, típicos de cristalización de rocas volcánicas (Tondar *et al.*, 1990). La relación largo-ancho de estos cristales es siempre próxima a 2.

Por otro lado, las poblaciones de circón observadas en las muestras de la Asociación Plutónica presentan formas predominantemente subhedrales y subordinadamente formas euhedrales. Los cristales son en general incoloros, sin zoneamientos, presentando con frecuencia inclusiones o microfracturas, transversales al eje C del cristal. La relación largo-ancho de los cristales es próxima a 2 - 3.

## CONCLUSIONES

En términos generales y con base en las observaciones efectuadas en las diferentes muestras es posible establecer las siguientes conclusiones básicas:

- las características tipológicas de los circones presentes en las litologías de las Asociaciones Volcánica Porfírica y Plutónica indican una naturaleza subalcalina a alcalina para el magmatismo del Macizo Alcalino Valle Chico, en el sentido de Pupin (1976; 1980; 1988), correspondiente a magmas de origen mantélico u oriundos de niveles crustales profundos;
- las características no tipológicas observadas son indicativas de un medio de cristalización saturado en  $\text{ZrSiO}_4$  y relativamente anhidro (Vavra, 1990; Benisek & Finger, 1993; Pupin, 1976);
- la dificultad para la obtención de poblaciones de circón y, consecuentemente, el bajo número de cristales obtenido en varias muestras volcánicas,

sería concordante con la elevada solubilidad del circón en los magmas alcalinos ricos en flúor (Watson & Harrison, 1983; Keppler, 1991).

Si bien los magmas alcalinos se caracterizan por ser magmas ricos en circonio, particularmente concentrado en los productos más diferenciados, la presencia de soluciones hidrotermales desarrolla, según Rubin *et al.* (1993), la movilidad del circonio promoviendo su lixiviación. Según estos últimos autores, no solo la composición de estas soluciones hidrotermales, sino además la mineralogía del propio circón, tendrían influencia en forma conjunta en la remoción de este mineral en los sistemas magmáticos alcalinos. En este sentido, las observaciones petrográficas realizadas, relacionadas con las alteraciones hidrotermales presentes, particularmente en las fácies petrográficas plutónicas, llevan a considerar que parte de la naturaleza alcalina del macizo estudiado es producto del enriquecimiento en álcalis a partir de soluciones hidrotermales tardías.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al CNPq (Brasil) el apoyo financiero para la realización de este trabajo, en el marco del Curso de Pos-graduación (Doctorado) de la UNESP.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENISEK, A. & FINGER, F. 1993. Factors controlling the development of prism faces in granitic zircons: a microprobe study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 114: 441 - 451.
- BOSSI, J. 1966. *Geología del Uruguay*. Depto. de Publicaciones de la Univ. de la República, Montevideo, 460 p.
- BOSSI, J.; FERNÁNDEZ, A.; ELIZALDE, G.; ALBANELL, H.; TECHEIRA, A.; FERRANDO, L.; HEIDE, E.; EUGUI, W.; ARMSTRONG, E. & OLIVEIRA, T. 1966. *Carta geológica de la Misión Aiguá-Lascano, 1er. Informe*. Fac. Agronomía - MGAP - ANCAP, Montevideo, 50 p.
- FERRANDO, L. & FERNÁNDEZ, A. 1971. Esquema tectono-estratigráfico del Predevoniano en el Uruguay. In: S.B.G., CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. *Anais*, 198 - 210.
- KEPPLER, H. 1991. Influence on the solubility of high field strength trace elements in granitic melts. *Eos*, 72: 532 - 533.

- MUZIO, R. 2000. *Evolução petrológica e geocronologia do Maciço Alcalino Valle Chico, Uruguai*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidad Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. tese de Doutorado, 170 p.
- MUZIO, R. & ARTUR, A.C. 1998. Petrografía y geoquímica del Macizo Alcalino Valle Chico (Depto. de Lavalleja, Uruguay): resultados preliminares. In: S.U.G., CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, 2, Punta del Este, 1998. *Actas*, 145 - 150.
- MUZIO, R.; PEEL, E. & ARTUR, A.C. 1999. New geochronological data of the Valle Chico Alkaline Massif using Sm/Nd and U/Pb isotope systematics. In: Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, II, Carlos Paz, 1999. *Actas*, 82 - 85.
- PIRELLI, H. 1999. Formación Valle Chico: un complejo alcalino Cretácico - una revisión. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, III Época, 6: 26 - 39.
- PUPIN, J.P. 1976. *Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie*. Base de la méthode typologique. Applications. Université de Nice, Thèse de Doctorat en Sciences, 394 p.
- PUPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73: 207 - 220.
- PUPIN, J.P. 1988. Granites as indicators of palaeogeodynamics. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 43 (2): 237 - 262.
- RUBIN, J.N.; HENRY, C.G. & PRICE, J.G. 1993. The mobility of zirconium and other immobile elements during hydrothermal alteration. *Chemical Geology*, 110: 29 - 47.
- TONDAR, P.; NEUMAIR, A. & TROLL, G. 1990. Die petrogenetische Deutung der Zirkonmorphologie einiger porphyritischer Ganggesteine der östlichen Zentralalpen. *Jb. Geologie B- A*, 133 (2): 365 - 384.
- VAVRA, G. 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106: 90 - 99.
- WATSON, E.B. & HARRISON, T.M. 1983. Zircon saturation revisited temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planett. Scien. Lett.*, 64: 295-304.
- WERNICK, E. 1986. Zircão: um importante mineral para a caracterização de rochas granitóides e a elaboração de mapas de zoneamento magmático. In: S.B.G., CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, *Anais*, 1353 - 1368.