

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

**PETROLOGY OF THE VOLCANIC ROCKS OF THE CUERVO HILL
(AREQUITA FORMATION, LAVALLEJA, URUGUAY)**

Porta, N.; Muzio, R.

Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Iguá 4225 CP 11400, Montevideo
nataliporta1991@gmail.com ; rossana@fcien.edu.uy

RESUMEN

El cerro del Cuervo está localizado a orillas del río Santa Lucía, aproximadamente doce kilómetros al norte de la ciudad de Minas. En este trabajo se realizó un estudio petrográfico detallado de las litologías de la Formación Arequita, aplicando criterios de análisis de facies para rocas volcánicas con el objetivo de caracterizar las litofacies volcánicas presentes y elucidar su historia eruptiva. Se identificaron un total de cinco litofacies, representables a escala 1/5000, que corresponden a cuatro facies volcánicas coherentes (basaltos vacuolares, riolitas glomero-porfiríticas bandeadas, riolitas glomero-porfiríticas masivas y riolitas glomero-porfiríticas vacuolares), y una litofacies no coherente (brecha volcánica lítica masiva). Los depósitos piroclásticos presentan diferente grado de soldadura y pueden ser clasificados genéticamente como ignimbritas e ignimbritas no reomórficas. Como resultado de este análisis litofaciológico se identificaron al menos dos eventos eruptivos. El primero, de carácter efusivo y asociado a la Formación Mariscal. El segundo evento se inició con un episodio volcánico de carácter explosivo y seguidamente por un episodio efusivo, asociados a la Formación Arequita. Ambos eventos volcánicos, están relacionados con la etapa distensiva del corredor tectónico Santa Lucía – Aiguá – Merín, en su sector intermedio.

Palabras clave: petrografía, riolitas, ignimbritas, Mesozoico, Uruguay

ABSTRACT

The Cuervo hill is located nearby the Santa Lucía River, about twelve kilometers North from Minas city. A detailed petrographic study applying facies analysis criteria for volcanic rocks was done, focusing on the characterization of the lithofacies exposed and in the aim of elucidate their eruptive history. Five volcanic lithofacies, mappable at scale 1/5000, have been identified. Four of them correspond to coherent volcanic facies (vesicular basalts, banded glomeroporphyritic rhyolites, massive glomeroporphyritic rhyolites and vesicular glomeroporphyritic rhyolites), while the fifth corresponds to a volcanoclastic facies (volcanic massive lithic breccias). The pyroclastic deposits show variable degree of welding and were genetically classified as ignimbrites and non-rheomorphic ignimbrites. As a result at least two eruptive events were identified for the Cuervo Hill volcanics. The first effusive episode is related with basalts of the Mariscal Formation. The second volcanic event started with an explosive episode followed by an effusive phase, associated with the Arequita Formation. Both volcanic events are related with the extensional stage of the Santa Lucía – Aiguá – Merín tectonic corridor, within its intermediate section.

Keywords: petrography, rhyolites, ignimbrites, Mesozoic, Uruguay.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los derrames volcánicos de composición félsica correspondientes a los eventos magmáticos ocurridos durante el Mesozoico se encuentran distribuidos fundamentalmente en la región sur de Brasil (Cuenca de Paraná), a través de las unidades litológicas Chapecó y Palmas en los estados de Rio Grande del Sur y Paraná (Melfi et al., 1988) y en la región sureste de Uruguay (Figura 1), con la Formación Arequita (Bossi, 1966). El magmatismo

de Rocha (Muzio, 2003; Cernuschi et al., 2015). De acuerdo con las descripciones presentes en varios trabajos posteriores (Bossi et al., 1975, Kirstein et al., 2000; Bossi & Ferrando (2001), Muzio et al., 2008, entre otros); los derrames riolíticos fueron descritos petrográficamente como rocas sistemáticamente porfíricas, con fenocristales de cuarzo corroídos y sanidina, con frecuentes estructuras fluidales indicando alta viscosidad, con niveles de tufos constituidos por bloques angulosos de entre 5 mm y 10 mm de arista (Bossi & Schipilov, 2007).

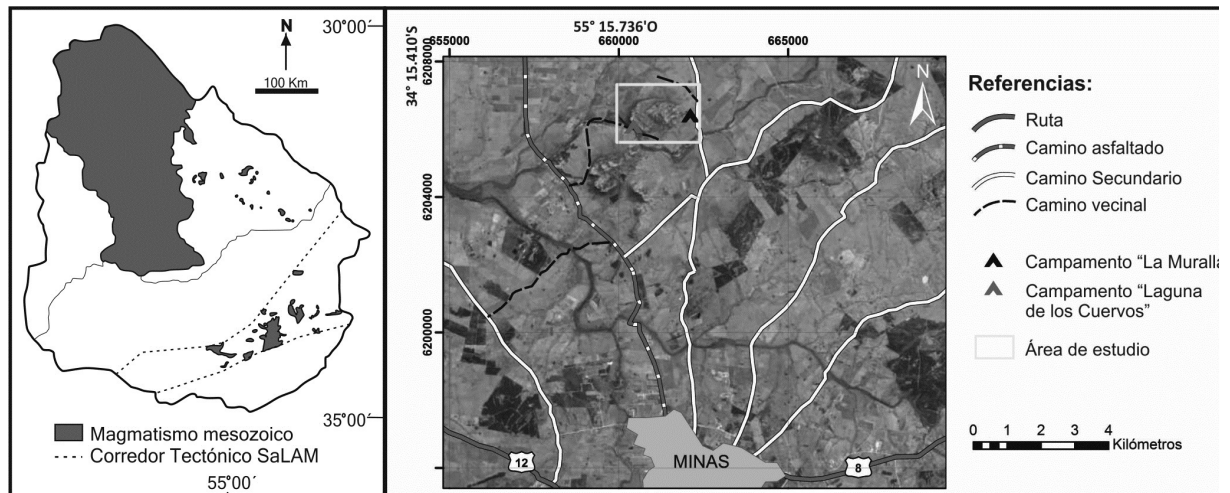


FIGURA 1 – Distribución regional del magmatismo mesozoico en Uruguay (izquierda; modificada de Muzio, 2003) y ubicación del cerro del Cuervo (derecha;); imagen modificada de Google Earth Pro, sistema de coordenadas WGS 1984 – Zona UTM 21S.

FIGURE 1 –Regional distribution of the Mesozoic magmatism in Uruguay (left side; modified after Muzio, 2003) and location of the Cuervo hill (right side); image modified from Google Earth Pro, coordinate system WGS 1984 – UTM zone 21S.

mesozoico en la región sureste de Uruguay se extiende desde la Cuenca Santa Lucía hasta la Cuenca Laguna Merín, a lo largo del corredor tectónico trazado por el Lineamiento Santa Lucía – Aiguá-Merín (SaLAM), estando presente también en la Cuenca Punta del Este (Rossello et al., 2000; Ucha et al., 2003). La Formación Arequita, comprende a un conjunto de derrames volcánicos predominantemente ácidos asociados a flujos piroclásticos que fueron inicialmente descritos por Walther (1927), como parte de la “Serie de Aiguá” y posteriormente de la “Serie de Lascano” por Caorsi & Goñi (1958). Fue elevada al rango de formación geológica por Bossi (1966), agrupando de esta manera a todo el magmatismo ácido mesozoico del Uruguay. Las áreas geográficas típicas de ocurrencia de estas lavas son los cerros de Arequita (sección tipo de la formación geológica), cerro del Cuervo, cerro Marmarajá, cerro Minuano, cerros Barboza y Salamanca, en los departamentos de Lavalleja y Maldonado; alrededores de Lascano, Sierras de los Ajos y de San Miguel, en el departamento

Bossi & Navarro (1991) y Bossi & Shipilov (2007), integran a la Formación Arequita en el denominado Grupo Lascano, el cual agrupa al conjunto de manifestaciones magmáticas pericratónicas asociadas a las fosas tectónicas resultantes de la apertura del océano Atlántico Sur durante el Mesozoico (Almeida, 1983). Existen numerosos antecedentes geoquímicos para las litologías correspondientes a la Formación Arequita, presentes en los trabajos de Piccirillo et al. (1996) apud Bossi & Schipilov (1998), y a los resultados publicados por Gómez Rifas & Masquelin (1996), Muzio & Sánchez Bettucci (1998), Kirstein et al. (2000), Muzio (2000), Lustrino et al. (2005; 2010) y Cernuschi et al. (2015), entre otros. Como resultado de los mismos se le atribuye a esta unidad volcánica una naturaleza subcalalina a alcalina, una relación petrogenética con el Macizo Valle Chico (Muzio et al., 2002; Lustrino et al., 2005), y una marcada diferencia en cuanto rasgos químicos generales del resto de las rocas volcánicas ácidas pertenecientes a la provincia Paraná

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

– Etendeka. Kirstein et al. (2000) reconocen en varias zonas de la Formación Arequita abundantes niveles con texturas ignimbríticas, caracterizando por primera vez a parte de este conjunto de depósitos volcánicos como producto de mecanismos eruptivos de tipo explosivo y petrogenéticamente relacionados con parte de los derrames riolíticos (Kirstein et al., 2001). Trabajos posteriores, detallados desde el punto de vista del análisis de facies volcánicas y realizados en la región este del país (Morales, 2006; Conti, 2008 y Muzio et al., 2008), confirman la abundancia de los productos explosivos y definen los mecanismos de emplazamiento (calderas volcánicas), para una gran extensión de las rocas de la Formación Arequita. Cernuschi et al. (2015) realizan un importante relevamiento geológico, geoquímico y geofísico a lo largo del sector intermedio y Este del SaLAM, caracterizando las rocas volcánicas e intrusivas presentes en la región. Desde el punto de vista geoquímico caracterizan al magmatismo bimodal presente como subalcalino a transicional, además de una nueva suite intrusiva de naturaleza alcalina. Los estudios geofísicos realizados por estos autores permiten también definir a las rocas intrusivas asociadas a las estructuras de calderas como complejos intrusivos anorogénicos. Los antecedentes de datos geocronológicos disponibles para la formación Arequita se inician con dataciones por el método K/Ar (en roca total y feldespatos), realizadas por Umpierre (1965) apud Bossi (1966), asignándole una edad cretácica, la cual ya había sido sugerida por Bossi & Fernández (1963), a partir de varios trabajos realizados principalmente en la zona sur del país. Posteriormente, los datos geocronológicos obtenidos por otros métodos de alta precisión como $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ubican a estas rocas volcánicas en el entorno de 128 ± 7 a $132\pm 0,2$ Ma (Stewart et al., 1996; Féraud et al., 1999), corroborando su inclusión cronoestratigráfica en el Cretácico temprano. Otras edades obtenidas por método K/Ar en roca total se sitúan también dentro de ese entorno (125 ± 9 Ma y $133,5\pm 3,1$ Ma; Pirelli, 1999 y Muzio, 2000; respectivamente). Datos recientes de Cernuschi et al. (2015), obtenidos también por el método $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, establecen edades para estas rocas entre $129,0\pm 0,18$ y $129,1\pm 0,5$ Ma. Asimismo, estos autores aportan también nuevos datos geocronológicos para las riolitas y rocas intrusivas félsicas a través del método U/Pb en circones, con edades de $131,1\pm 0,73$ y entre $130,3\pm 1,5$ a $134,25\pm 0,56$, respectivamente. Como resultado de los trabajos realizados en los últimos años (Kirstein et al., 2001; Lustrino

et al., 2003; Muzio et al., 2004; Muzio et al., 2008; Muzio et al., 2009; Cernuschi et al. 2015), se ha constatado que estas manifestaciones volcánicas félsicas de la Formación Arequita (a diferencia de las presentes en Brasil) incluyen abundantes términos volcanoclásticos y que las mismas están fuertemente controladas por la tectónica generadora del lineamiento Santa Lucía – Aiguá-Merín (SaLAM sensu Rossello et al., 2000; Morales, 2006; Conti, 2008). Estos resultados llevaron a reinterpretar el modelo de emplazamiento de estas rocas volcánicas, caracterizándose varias calderas volcánicas (Conti, 2008; Muzio et al., 2008) y posteriormente los complejos intrusivos anorogénicos asociados (Cernuschi et al., 2015), así como cuestionar su posible relación petrogenética con los derrames basálticos predecesores. Por lo expuesto anteriormente, este trabajo presenta el relevamiento geológico detallado de una de las áreas expuestas más emblemáticas de la Formación Arequita (cerro del Cuervo), con base en el análisis de facies volcánicas (criterios de identificación y clasificación descriptiva y genética de facies volcánicas/volcanoclásticas), con el objetivo de aportar nueva información geológico/petrográfica y como contribución al conocimiento de los procesos físicos involucrados en este evento magmático.

GEOLOGÍA DEL ÁREA

En el área estudiada aflora la Formación Mariscal (Bossi & Schipilov, 1998; prima Formación Puerto Gómez; Bossi, 1966), enmarcando al cerro del Cuervo y ocupando los niveles topográficos más bajos; contrastando así con el relieve positivo del mismo. Presenta escasos afloramientos, algunos de los cuales están presentes en el sector SW de la zona cartografiada, formando mayormente suelos en su superficie. La Formación Arequita está representada en la totalidad del cerro del Cuervo y su área aflorante corresponde a la zona central del relevamiento geológico realizado en este trabajo (Figura 2). Topográficamente constituye la mayor elevación presente en el área cartografiada, conjuntamente con el cerro Arequita, ubicado al S del mismo. Esta unidad exhibe un grado medio de fracturación, observándose dos familias principales de fracturas con direcciones dominantes $N70^\circ$ y $N140^\circ$, respectivamente. Los buzamientos presentes en las fracturas son siempre subverticales a verticales. Ocasionalmente se observan a escala de afloramiento algunos planos de espejos de falla, con orientación $N36^\circ/82^\circ\text{SE}$. Los depósitos recientes y actuales presentes en

la zona de trabajo están representados por: (i) depósitos aluviales localizados en las márgenes del Río Santa Lucía, fundamentalmente en el sector SW, compuestos por clastos polimícticos de tamaño bloque, de selección regular, redondeados, en algunos casos imbricados según la dirección de la corriente; y (ii) coluviones. Los coluviones se encuentran ubicados hacia el S y W del Cerro del Cuervo, con una composición igual a la identificada en el mismo (riolítica). Los clastos que componen estos depósitos son de diferentes tamaños, alcanzando ocasionalmente una escala métrica.

METODOLOGÍA

El abordaje metodológico a través del análisis de facies volcánicas permite comprender la historia física del volcanismo, los mecanismos de transporte involucrados en la construcción de depósitos explosivos y, en definitiva, poder identificar los diversos depósitos primarios vinculados eventualmente a diferentes estilos eruptivos: efusivo y explosivo (Cas & Wright 1987; Mc Phee et al., 1993). De acuerdo a los objetivos establecidos, el trabajo se basa en descripciones petrográficas detalladas macro-

y microscópicas, abarcando diferentes perfiles del cerro del Cuervo y de base al tope del mismo. Para los trabajos microscópicos, fueron confeccionadas un total de 54 láminas delgadas en el Laboratorio de Geología de Facultad de Ciencias de acuerdo a los criterios de preparación de corte y pulido de rutina (Fort, 2015). Las descripciones petrográficas macroscópicas siguen los criterios descriptivos y nomenclatura establecidos por Cas & Wright (1987); Mc Phee et al. (1993) y reseñados por Morales (2006). Las descripciones y registro fotográfico se realizaron en el Instituto de Ciencias Geológicas (Facultad de Ciencias), utilizando microscopio petrográfico NIKON Eclipse P200, con software NIS-Elements (™NIKON) acoplado.

RESULTADOS

Como resultado del relevamiento geológico del cerro del Cuervo fueron identificados dos conjuntos de facies volcánicas: (i) facies volcánicas coherentes o efusivas y (ii) facies volcánicas no coherentes o explosivas, de acuerdo a los criterios establecidos por Mc Phee et al. (1993). Dentro del primer conjunto fueron identificadas cuatro litofacies efusivas,

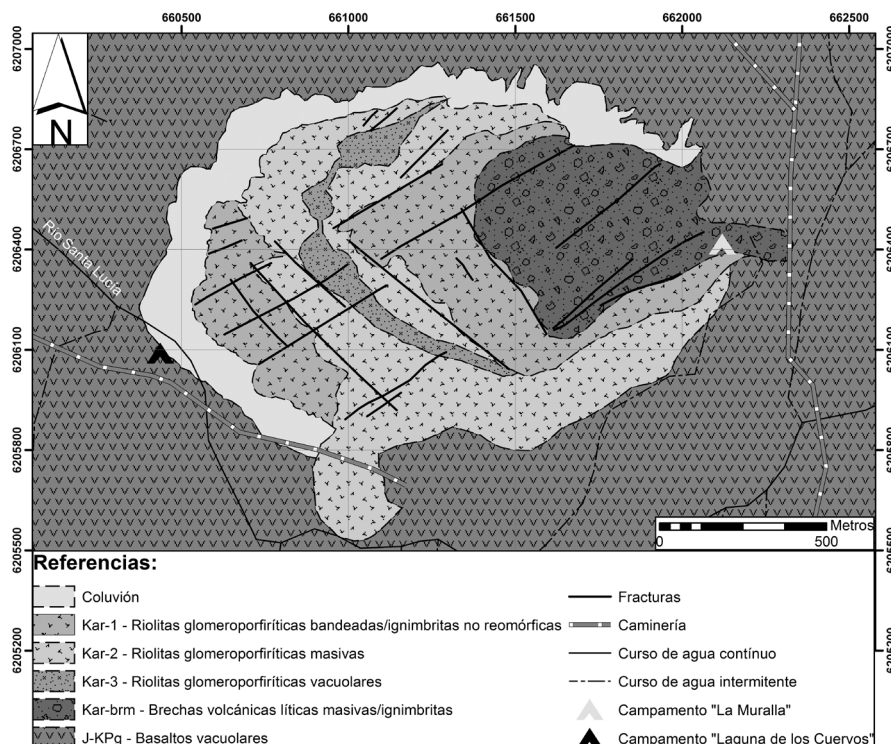


FIGURA 2 – Mapa geológico simplificado del cerro del Cuervo (Porta, 2016).

Sistema de coordenadas WGS 1984 – Zona UTM 21S

FIGURE 2 – Simplified geological map of the Cuervo hill (Porta, 2016).

Coordinate system WGS 1984 – UTM Zone 21S

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

una correspondiente a la Formación Mariscal (basaltos vacuolares; Figura 3a y 3b) y tres correspondientes a la Formación Arequita, objetivo específico de este estudio. Por otro lado, la facies volcánica no coherente o explosiva identificada también fue asignada, de acuerdo a los antecedentes y sus características composicionales, a la Formación Arequita. Adicionalmente fueron identificadas otras dos subfacies volcanoclásticas, las cuales si bien no fueron representadas a la escala del trabajo, serán descriptas como una particularidad dentro de la facies principal a la cual se encuentran asociadas.

Facies volcánicas coherentes o efusivas
Las litofacies identificadas para la Formación Arequita corresponden a: (i) riolitas glomeroporfiríticas bandeadas, (ii) riolitas glomeroporfiríticas masivas y (iii) riolitas glomero porfiríticas vacuolares. Estas rocas están expuestas principalmente en dos sectores del cerro del Cuervo: sector central y sector oeste, presentando una gran densidad de afloramientos y observándose relaciones de contacto de estas litofacies y la facies volcánica explosiva. Petrográficamente y a nivel macroscópico, presentan una coloración de gris a rojiza y textura glomeroporfirítica, con matriz afanítica. Los glomérulos están compuestos por cuarzo y feldespato potásico, con tamaños variables entre 3 mm y 5 mm. En la litofacies (i) predomina una textura de flujo, notoria macroscópicamente por la orientación de los glomérulos y fenocristales y también por la presencia de bandas vítreas y cuarzosas visibles a escala de afloramiento (Figura 3e). La litofacies (ii) presenta importante fracturación generando abundantes depósitos residuales al pie de los afloramientos e intensa meteorización a través de las fracturas. La litofacies (iii) correspondería a los niveles vacuolares del tope de estos derrames riolíticos y presenta, además de la textura glomeroporfirítica, aproximadamente un 20% de vacuolas con geometría elongada indicando también textura de flujo. A través de estos datos texturales/estructurales inherentes a los derrames de lava, es posible identificar dos niveles de derrames riolíticos. La diferente coloración que se observa en los afloramientos es producto de procesos de alteración, con abundante presencia de sericita/minerales arcillosos, fundamentalmente debido a procesos de desvitrificación y/o hidrotermalismo. Microscópicamente, las tres litofacies presentan textura afanítica, hipovítrea y glomeroporfirítica compuesta por fenocristales de cuarzo y

sanidina. Los fenocristales aislados presentan un tamaño entre 3 mm y 4 mm. La sanidina se encuentra en ocasiones automorfa, y en otras xenomorfa, muy corroída, con presencia de pertitas en algunos cristales y ocasional zoneamiento (Figura 3c y 3f). Los cristales de cuarzo se presentan automorfos a subautomorfos subredondeados, con golfos de corrosión y/o bordes de reacción (Figura 3d). La matriz es microgranular, compuesta por microlitos de cuarzo y feldespato potásico, con alteración a sericita en zonas las zonas con desvitrificación, observándose un aumento en el tamaño de los minerales hacia los bordes de los fenocristales. La textura esferulítica suele estar localizada próxima a los fenocristales o glomérulos aunque también aparece en otros sectores de la matriz. Se observan además abundantes minerales opacos, con hábito prismático a tabular, identificados como magnetita e ilmenita, rodeando ocasionalmente a los fenocristales de cuarzo y feldespato. Estos minerales opacos pueden presentarse también como inclusiones en los fenocristales o diseminados por la matriz sin una orientación preferencial.

Facies volcánica no coherente o explosiva
Esta facies volcanoclástica se desarrolla en el E del cerro del Cuervo, pudiendo ser bien apreciada en varias paredes casi verticales entre las cotas 170 - 180 metros y con una distribución importante en relación a las demás facies volcánicas descritas anteriormente. Se trata de una litología con estructura matriz soporte, con muy mala selección en relación al tamaño granulométrico de los clastos y compuesta por fragmentos de rocas volcánicas (clastos juveniles de composición riolítica glomeroporfirítica masiva y bandeada), que alcanzan varios decímetros en tamaño y cristaloclastos, principalmente de cuarzo y feldespato, distribuidos en una matriz de clastos muy finos, a veces también vitroclástica, levemente bandeada. Los clastos juveniles representan aproximadamente el 30 % de la composición de la roca, con un tamaño de grano variable entre lapilli y bloque/bomba que puede alcanzar hasta los 60 centímetros (Figura 4a y 4b). La geometría de los litoclastos es desde subredondeada a subangulosa. La textura presente en estos fragmentos líticos es de tipo porfirítica, con fenocristales de cuarzo fundamentalmente; ocurriendo también como fuera mencionado algunos fragmentos líticos con marcada estructura fluidal. La matriz del depósito está constituida esencialmente por vidrio y cristaloclastos con tamaño de grano arena y en algunas zonas presenta

composición cuarzosa y riolítica (Figura 4c). Se observa ocasionalmente también a nivel de la matriz la presencia de algunas vacuolas de tamaño milimétrico y formas irregulares. Los afloramientos de estos depósitos presentan además numerosos huecos subredondeados a subangulos y de tamaños diversos, debidos posiblemente a clastos faltantes que fueron removidos por procesos de meteorización.

Microscópicamente, los clastos que las componen son angulosos, mal seleccionados, de composición volcánica polimíctica. Otros componentes que indican la naturaleza volcánica no cohesiva de esta litofacies son los cristaloclastos presentes (cristales y fragmentos de cristales de cuarzo y sanidina principalmente). Todos estos componentes clásticos presentan tamaño siempre superior a los 2 mm. La matriz presenta una textura microcristalina compuesta principalmente por cuarzo y feldespato potásico, con clastos y cristaloclastos diseminados, además de abundantes minerales opacos cuyo tamaño alcanza hasta 1 mm, con geometría prismática o automorfos hasta algunos de ellos totalmente xenomorfos (Figura 4d y 4e). La estructura presente en la matriz es de tipo masiva, con evidencias de desvitrificación y reemplazo por sericita. Varios de los cristaloclastos, presentan padrones tipo jig-saw (Mc Phee et al., 1993) y se observa también en la matriz la ocasional presencia de vacuolas. Dentro de esta litofacies existen algunas zonas puntuales con variaciones granulométricas, con clastos gradando hacia tamaño arena, generalmente inferior a 2 mm. Estas zonas presentan ocasionalmente bandeo o textura fluidal el cual varía en intensidad y es observable a través de la orientación de los clastos de cristales o por la presencia de niveles vítreos muy marcados (fiammes y shards) a lo largo de esos planos. La matriz en este caso es muy fina, compuesta mayormente por vidrio, con zonas importantes resaltadas por procesos de desvitrificación y ocasionales texturas de tipo eutaxítica, lo que genera bandas con diferente coloración entre sí. En función de los rasgos composicionales y texturales dominantes presentes en esta litofacies, la misma fue clasificada y representada cartográficamente como brecha volcánica lítica masiva, de acuerdo a los criterios descriptivos Mc Phee et al. (1993). Las variaciones a nivel granulométrico (niveles más finos y vitroclásticos matriz soportados, con bandeo fluidal, etc.) son muy puntuales y aleatorias, por lo cual sólo se incluye su descripción dentro de la litofacies dominante.

Desde el punto de vista genético, las características texturales y composicionales permiten su clasificación como depósitos de coladas piroclásticas o ignimbritas (Cas & Wright, 1987; Mc Phee et al., 1993).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los depósitos volcánicos, generalmente pueden presentar una importante diversidad litológica incluyendo lavas, depósitos piroclásticos, depósitos autoclásticos y, eventualmente, depósitos resultantes de un amplio espectro de procesos sedimentarios operantes en los mismos (Fischer & Schminke, 1982; Mc Phee et al., 1993). Por otro lado, la presencia de diferentes tipos de procesos y mecanismos en el mismo contexto volcánico puede resultar en que un único evento magmático presente grandes variaciones litofaciológicas (diferentes depósitos), relacionadas con las modificaciones de las condiciones físicas y/o químicas del magma o con las características del conducto (Cas & Wright, 1987). Como resultado del mapeo faciológico realizado en el área del cerro del Cuervo se identificaron seis facies volcánicas; cuatro de ellas corresponden a facies coherentes y una facies volcanoclástica. Asociadas a esta última, es posible identificar subfacies con granulometría más fina, más o menos bandeada, no representables a la escala del trabajo. Todas las facies se encuentran escalonadas y basculadas estructuralmente hacia el SW, coincidiendo con el reconocimiento estructural observado por Bossi (1966) para los depósitos volcánicos del cerro Arequita y en zonas de ocurrencia de la Formación Arequita (cerro de Sosa, cerro Salamanca), a lo largo del sector intermedio del SaLAM (Rossello et al., 2007). Si bien la caracterización de todos los depósitos volcánicos en este trabajo fue realizada desde el punto de vista descriptivo, en función de la identificación de algunas características particulares de los mismos y al análisis de las litofacies identificadas es posible interpretar aspectos vinculados a su génesis, los que serán descritos a continuación en forma sucinta. El especial énfasis puesto en la interpretación genética de los depósitos volcanoclásticos es debido a que potencialmente pueden ser de gran importancia en la interpretación de los paleoambientes en los cuales el volcanismo ocurrió (Cas & Wright, 1987). En este sentido, las facies volcánicas coherentes de la Formación Arequita se caracterizaron siguiendo entre otros criterios; a) aspectos petrográficos: textura porfirítica

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

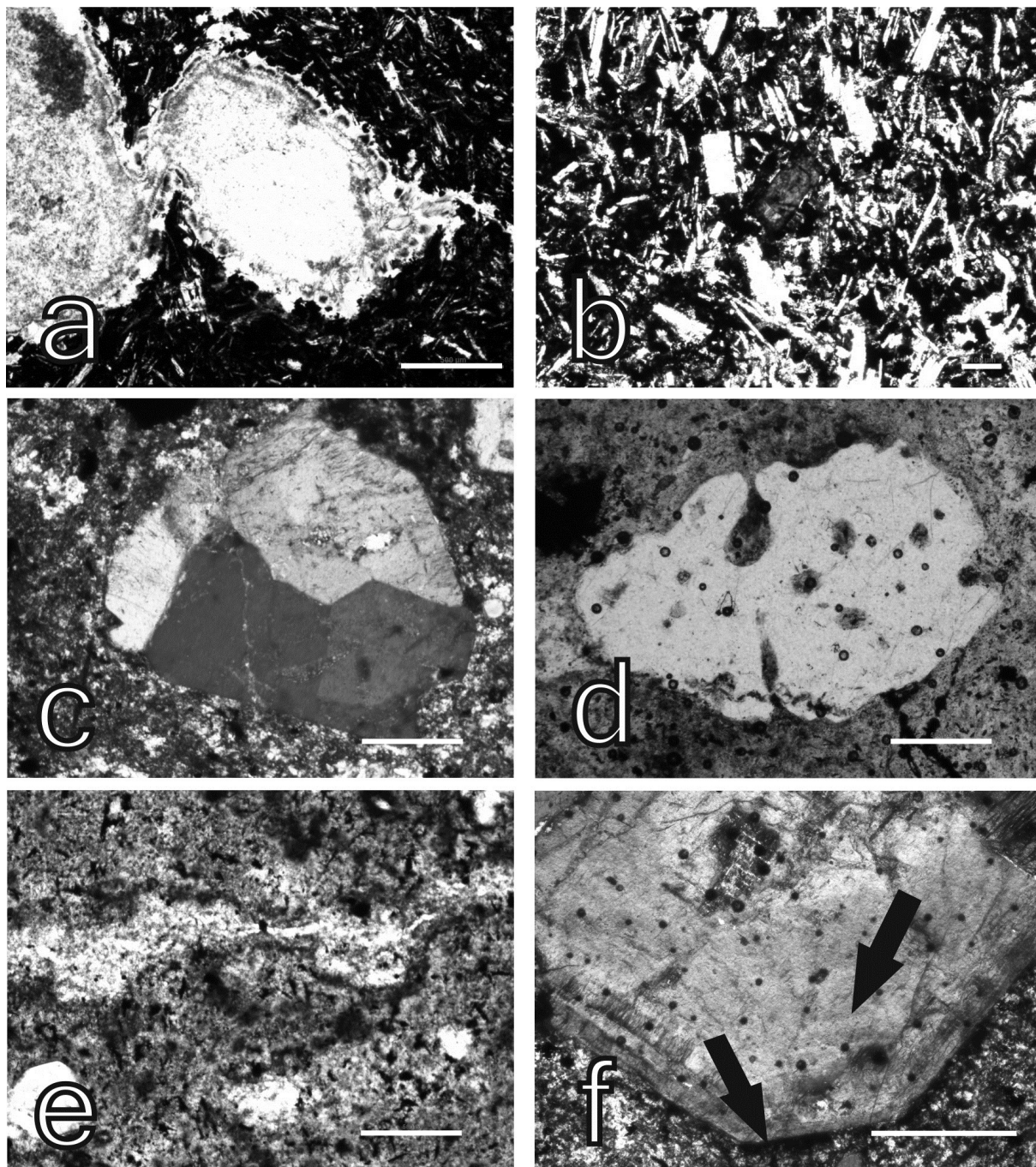


FIGURA 3 – Fotomicrografías de las litofacies efusivas de las Formaciones Mariscal y Arequita. (a) Detalle de textura vacuolar con relleno de ceolitas y (b) detalle de textura subofítica a intersertal; basaltos vacuolares de Formación Mariscal; (c) Detalle de fenocristales de sanidina en riolitas glomeroporfíricas; (d) cristal de cuarzo con bordes de reacción; (e) bandas de cuarzo microplegadas en riolitas glomeroporfíricas bandeadas y (f) fenocristal de sanidina con leve zoneamiento y desvitrificación de la matriz alrededor de los bordes del cristal; Formación Arequita. Barra de escala: 500 μm .

FIGURE 3 – Photomicrographies of the effusive lithofacies of the Mariscal and Arequita Formations. (a) Detail of vesicular texture filled by zeolites and (b) detail of subophitic to intersertal texture; vesicular basalts of the Mariscal Formation. (c) Detail of sanidine phenocryst from glomeroporphyritic rhyolites; (d) quartz phenocrysts with reaction/corroded borders and (e) microfolded bands of quartz in banded glomeroporphyritic rhyolites and (f) sanidine phenocryst showing slight zoning and devitrification processes around crystal borders; Arequita Formation. Scale bar: 500 μm .

con fenocristales félsicos y presencia de minerales no fragmentados así como también

reconocimiento de texturas glomeroporfíricas y principalmente ausencia de piroclastos, pómez,

cristaloclastos, shards u otros componentes asociados a procesos de tipo explosivo; b) estratigrafía de las unidades volcánicas; presencia de zonas masivas y autobrechas; las que suelen ser típicas en derrames riolíticos de tipo flujo de lava. Las facies volcanoclásticas en cambio, presentan características texturales

que indican un origen explosivo de acuerdo a los criterios que se resumen a continuación: contienen abundantes cristales fragmentados de cuarzo y/o feldespato potásico (cristales angulosos), con frecuente textura tipo jig-saw pattern; presentan una mala selección granulométrica con cristales y clastos que varían

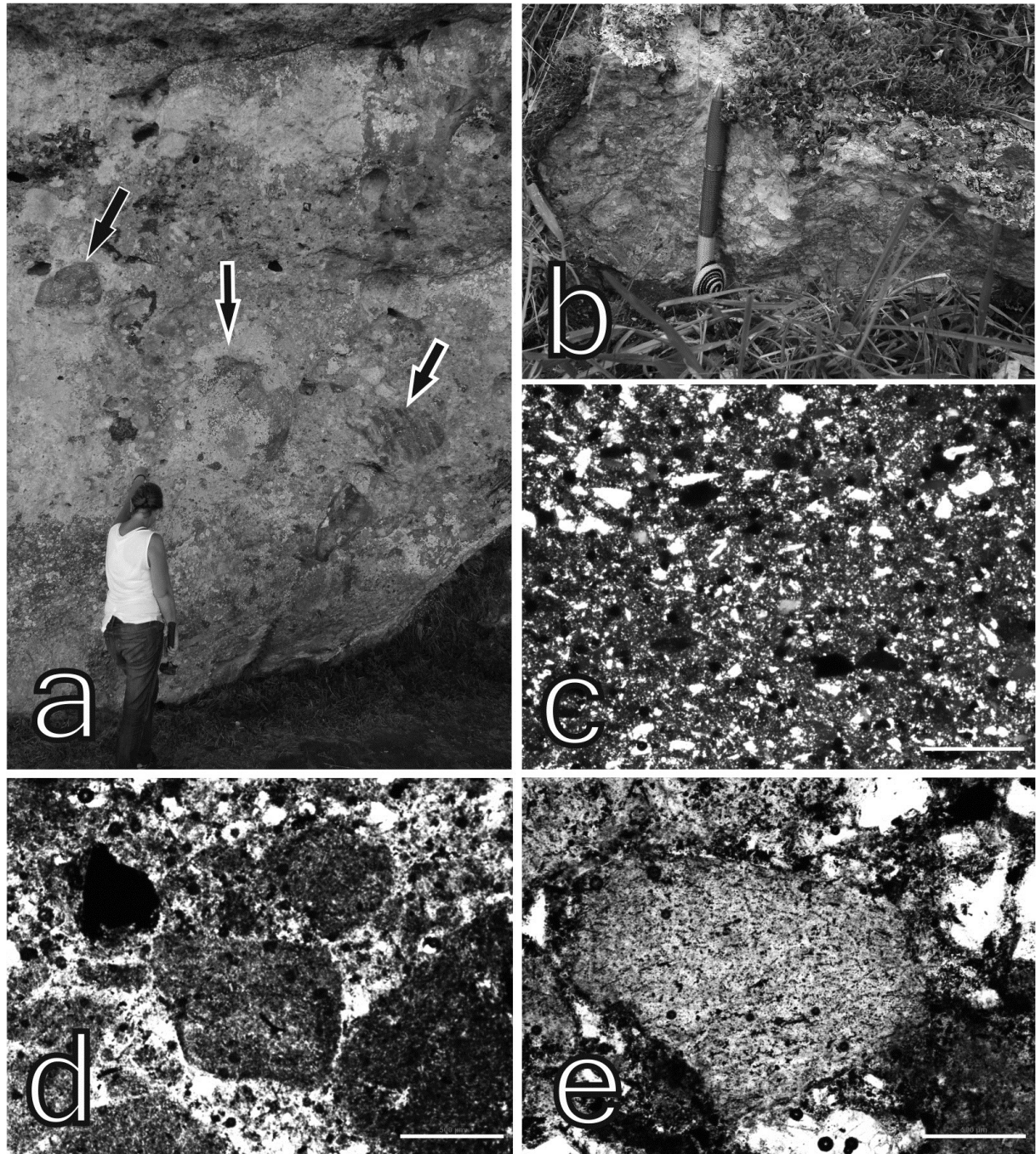


FIGURA 4 – Detalles de afloramiento y fotomicrografías de las facies volcanoclásticas de la Formación Arequita. (a) Litoclastos de composición riolítica, con tamaño medio de 50 cm (flechas); (b) litoclastos riolíticos de hasta 3 cm; (c) matriz con cristaloclastos y shards, barra de escala: 500 µm; (d) y (e) clastos juveniles subredondeados riolíticos, cristaloclastos de cuarzo y huecos dejados por los clastos.

FIGURE 4 – Outcrop details and photomicrographies of the volcanoclastic facies of the Arequita Formation. (a) Lithoclasts of rhyolitic composition, mean size 50 cm (arrows); (b) rhyolitic lithoclasts up to 3 cm size; (c) fine groundmass with crystalclasts and shards, scale bar: 500 µm; (d) and (e) subrounded juvenile clasts of rhyolitic composition, crystalclasts of quartz and cavities left by clasts.

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

de tamaño, desde milímetros a centímetros; es frecuente la presencia de ocasionales fragmentos líticos centimétricos a decimétricos (fragmentos juveniles riolíticos) y, finalmente, se observa a nivel microscópico la presencia de vitroclastos/fiammes/shards, que en ocasiones se presentan intensamente deformados. Desde el punto de vista petrográfico las facies volcánicas coherentes o efusivas correspondientes a la Formación Arequita presentan en común una mineralogía compuesta por feldespato potásico (sanidina/anortoclasa) + cuarzo ± minerales opacos (óxidos de hierro). Asociadas a estas litofacies de composición riolítica se observa la presencia de autobrechas. Estas se encuentran en los bordes de las coladas, generando zonas de brechas autoclásticas (clastos subangulosos de composición riolítica inmersos en una matriz ígnea también riolítica). Estas litofacies de composición riolítica, podrían estar asociadas al mismo evento efusivo, ya que cada una se corresponde, en rasgos generales, con variaciones texturales típicas generadas por flujos sub-aéreos de lava según Mc Phee et al. (1993). En el caso particular de la litofacies correspondiente a riolitas glomeroporfíricas bandeadas, si bien fue descrita inicialmente como facies volcánica efusiva, corresponde discutir algunos aspectos texturales macro- y microscópicos que llevan a la incertidumbre acerca de su correcta clasificación petrológica. Como característica conspicua esta litofacies presenta una fuerte estructura bandeada (fluidal), a nivel macroscópico y microscópico (alineamiento de fenocristales según bandas vítreas y pliegues centimétricos y milimétricos, bandas vítreas plegadas, semejantes a restos de shards y fiammes estirados y deformados tipo platy shards), lo que podría indicar que se trata de un depósito piroclástico con un elevado grado de soldadura y una alta viscosidad (similar a una riolita), que le permite fluir como una lava. Estas evidencias, presentes en depósitos volcanoclásticos fuertemente soldados, implican que el material se comportó como un fundido viscoso uniforme generando texturas similares a las presentes en derrames de lava de la misma composición (Sommer et al., 2011). Esto a veces es casi imperceptible en muestra de mano cuando se los compara con lavas riolíticas, a pesar de tratarse de flujos piroclásticos. Debido a las características petrográficas y litofaciológicas que exhibe esta litofacies riolítica bandeada se interpreta que la misma pudo ser generada por flujos piroclásticos asociados a un evento explosivo y se definiría entonces como una ignimbrita de grado medio a alto de soldadura

o tipo lava-like (Llambías, 2008) o reoignimbrita según Walker (1983), por su capacidad de fluir y alta densidad. Según este autor, debido a su alta densidad el centro eruptivo que la generó podría encontrarse muy próximo a la zona del depósito. Observaciones similares ya fueron resaltadas por otros autores para las rocas de la Formación Arequita en otras zonas próximas al cerro del Cuervo (p.e. alrededores de Aiguá; Kirstein et al., 2000; Kirstein et al., 2001; Lustrino et al., 2010; o unidad riolítica Las Averías de Cernuschi et al., 2015; entre otros). En todos los casos reportados, las variaciones laterales que presentan estos depósitos son muy locales, a escala de afloramientos y con dimensiones variables de orden decimétrico a métrico, lo cual no permite determinar con claridad la distribución original del depósito. Esto implica que la interpretación del mismo puede ser muy ambigua. Kirstein et al. (2001) resaltan que la temperatura de emplazamiento necesaria para obliterar una textura piroclástica original debe ser superior a los 1000°C y los estudios termométricos realizados por estos mismos autores indican que las lavas ácidas del sureste de Uruguay tuvieron temperaturas de emplazamiento entre 800°C – 900°C. Sin embargo, la presencia de varios rasgos deformacionales descritos para esta litofacies (bandas vítreas y micropliegues de cuarzo y/o vidrio) que pueden indicar un grado medio a alto de soldadura, sumado al porcentaje de cristales (cercano al 30%) y otros elementos texturales (fragmentos y vesículas con dimensiones medias de 3 mm), permitirían al menos aproximar su posible clasificación como ignimbrita no reomórfica, de acuerdo a los criterios de Mc Birney & Murase (1984).

En síntesis:

- Desde el punto de vista petrográfico las facies efusivas correspondientes a la Formación Arequita en el cerro del Cuervo presentan una mineralogía compuesta por feldespato potásico (sanidina) + cuarzo ± minerales opacos (óxidos de hierro y titanio). La aparición de cuarzo, desde automorfo a subautomorfo como fenocristales y como componente microlítico en la matriz, sugiere el comienzo de una cristalización temprana de este mineral. Asimismo, la presencia de cristales de cuarzo automorfos (polimorfos de alta temperatura), indicaría temperaturas de cristalización que varían entre 573°C y 867°C (Whalen et al., 1987) y una naturaleza peralcalina para estos magmas.

- La presencia de brechas autoclásticas en la superficie de varios derrames riolíticos es típica de flujos de lava viscosos y es otra característica que indicativa del origen de los mismos a través de un mecanismo eruptivo efusivo.

- La presencia de abundantes depósitos piroclásticos groseros (brechas volcánicas líticas masivas) sería indicativa de la proximidad del conducto emisor por tratarse de los depósitos más proximales, de acuerdo a la distribución prevista para las litofacies volcanoclásticas asociadas a flujos o coladas piroclásticas (Walker, 1985).

- Se considera finalmente que los cambios verticales en tamaño y composición, así como la heterogeneidad y distribución restringida de los depósitos definidos a partir del conjunto de facies no coherentes pueden ser interpretados como el registro de episodios piroclásticos discretos. Además, se los caracteriza genéticamente entre los diferentes tipos de depósitos piroclásticos generados por coladas o flujos piroclásticos (sensu Fischer & Schmincke, 1984), como depósitos ignimbríticos e ignimbritas no reomórficas, con grado variable de soldadura.

- Fue posible reconocer en el área estudiada del cerro del Cuervo dos episodios eruptivos. El primer episodio corresponde al evento efusivo representado por los basaltos vacuolares de la Formación Mariscal, asociado a la etapa distensiva del SaLAM que generó las pequeñas fosas tectónicas en su sector intermedio. El segundo episodio eruptivo corresponde a un evento volcánico representado, por una etapa explosiva (ignimbritas y posibles ignimbritas no reomórficas) y por una etapa efusiva representada por los derrames riolíticos glomeroporfíricos, en ambos casos correspondientes a la Formación Arequita.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero de PEDECIBA área Geociencias, a través de una pasantía de inicio a la investigación para N. Porta. Se agradece especialmente el aporte constructivo realizado por los evaluadores de la RSUG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F., 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. **Revista Brasileira de Geociencias** 13(3): pp. 139 – 158.

BOSSI, J., 1966. Geología del Uruguay. **Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República**, Montevideo, 1 - 460 pp.

BOSSI, J. & FERNÁNDEZ, A., 1963. Evidencias de diferenciación magmática hacia el final del Gondwana uruguayo. **Boletín da Universidade de Paraná, Geología** N° 9, pp. 1 - 20.

BOSSI, J. & FERRANDO, L., 2001. **Carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000**. Versión CD-ROM, Geoeditores S.R.L., Montevideo.

BOSSI, J. & NAVARRO, R., 1991. **Geología del Uruguay, Vol. I**. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, 1 - 580 pp.

BOSSI, J. & SCHIPILOV, A., 1998. **Rocas ígneas básicas del Uruguay, Vol. I**. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, 1 - 245 pp.

BOSSI, J. & SCHIPILOV, A., 2007. **Rocas Ígneas Básicas del Uruguay, Vol. I**. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, 1 - 364 pp.

BOSSI, J. & UMPIERRE, M. 1975. Magmatismo mesozoico del Uruguay y Río Grande del Sur: sus recursos minerales asociados y potenciales. **Anales Congreso Iberoamericano de Geología Económica**, Buenos Aires, Vol. II, pp. 119 – 142.

BOSSI, J.; FERRANDO, L.; FERNÁNDEZ, A.; ELIZALDE, G.; MORALES, H.; LEDESMA, J.; CARBALLO, E.; MEDINA, E.; FORD, I. & MONTAÑA, J. 1975. **Carta geológica del Uruguay (1/1.000.000)**. Dirección de Suelos y Fertilizantes, ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo, 1 - 25 pp.

CAORSI, J. & GOÑI, J., 1958. Geología uruguaya. **Boletín del Instituto Geológico** 37, Montevideo, 1-72 pp.

CAS, R. & WRIGHT, J., 1987. **Volcanic successions, modern and ancient**. Allen & Unwin, London, 1 - 528 pp.

CERNUSCHI, F.; DILLS, J.H.; KENT, A.J.R.; SCHOER, G.; RAAB, A.K.; CONTI, B.; MUZIO, R., 2015. Geology, geochemistry and geochronology of the Cretaceous Lascano East intrusive complex and magmatic evolution of the Laguna Merín basin, Uruguay. **Gondwana Research** 28, pp. 837 – 857.

CONTI, B., 2008. **Caracterización faciológica y estructural del magmatismo mesozoico en la región de Lascano**. Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, Montevideo. 85 pp.

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 South American Symposium on Isotope Geology**, Córdoba, pp. 57 – 59.

FISHER, R.V. & SCHMINCKE, H.U. 1984. **Pyroclastic rocks**. Ed. Springer Verlag, Berlin, 1 – 472 p.

FORT, S., 2015. **Geoquímica de plutones**

**PETROLOGÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL CERRO DEL CUERVO
(FORMACIÓN AREQUITA, LAVALLEJA, URUGUAY)**

- graníticos del noreste de Uruguay: Granitos Guazunambí, Policlínica y Yermal.** Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, Montevideo, 105 p.
- GÓMEZ RIFAS, C. & MASQUELIN, H., 1996. Petrología y geoquímica de las rocas volcánicas cretácicas del Uruguay. **Actas XIII Congreso de Geología Argentina**, Buenos Aires, Vol. III, pp. 635 – 652.
- KIRSTEIN, L.; PEATE, D.; HAWKESWORTH, C.; TURNER, S.; HARRIS, C.; MANTOVANI, M., 2000. Early Cretaceous basaltic and rhyolitic magmatism in southern Uruguay associated with the opening of the South Atlantic. **J. Petrology** **41**, pp. 1413 – 1438.
- KIRSTEIN, L.; HAWKESWORTH, C.; GARLAND, F., 2001. Felsic lavas or rheomorphic ignimbrites: is there a chemical distinction? **Contributions to Mineralogy and Petrology** **142**(3): pp. 309–322.
- LLAMBÍAS, E., 2008. Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina – Serie B – Didáctica y Complementaria N° 29. Inst. Sup. **De Correlación Geológica – Serie Correlación Geológica N° 15**, 222 p.
- LUSTRINO, M.; GOMES, C.; MELLUSO, L.; MUZIO, R.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C., 2003. Early Cretaceous magmatic activity in southeast Uruguay: trace element and Sr – Nd isotopic constraints. **Short Papers, IV South American Symposium on Isotope Geology**, Vol. II, Salvador, Brazil, pp. 596 – 597.
- LUSTRINO, M.; MELLUSO, L.; BROTZU, P.; GOMES, C.B.; MORBIDELLI, L.; MUZIO, R.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C., 2005. **Petrogenesis of the Early Cretaceous Valle Chico igneous complex (SE Uruguay): relationships with Paraná – Etendeka magmatism.** *Lithos* **82**, pp. 407 – 434.
- LUSTRINO, M.; MARRAZZO, M.; MELUSSO, L.; TASSINARI, C.; BROTZU, P.; GOMES, C.B.; MORBIDELLI, L. & RUBERTI, E., 2010. Petrogenesis of Early Cretaceous silicic volcanism in SE Uruguay: The role of mantle and crustal sources. **Geochemical Journal**, Vol. 44, pp. 1–22.
- MC BIERNEY, A. & MURASE, T., 1984. Rheological properties of magmas. *Annual Reviews. Earth Planetary Sciences Letters*, **12**: 337 – 57.
- MCPHIE, J.; DOYLE, M.; ALLEN, R., (1993). **Volcanic textures. A guide to the interpretation of textures of volcanic rocks.** Centre for Ore deposit and exploration studies. University of Tasmania, Australia, 1 - 198 pp.
- MELFI, A.; PICCIRILLO, E.; NARDY, A., 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin. In: **PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. (EDS): The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin, petrogenetic and geophysical aspects.** EDUSP, IAG, Brasil, pp. 1 – 14.
- MORALES, E., 2006. **Caracterización faciológica de los depósitos volcánicos mesozoicos asociados a la Formación Arequita (Ki), Uruguay.** Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Montevideo. 64 pp.
- MUZIO, R., 2000. **Evolução petrológica e geocronologia do Maciço Alcalino Valle Chico (Ki), Uruguai.** Tese de Doutorado, IGCE, UNESP – Rio Claro, SP, 1 - 171 pp.
- MUZIO, R., 2003. El magmatismo mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (EDS.): **Cuencas sedimentarias del Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico.** DIRAC – Facultad de Ciencias, Montevideo, pp. 75 – 100.
- MUZIO, R. & SÁNCHEZ, L., 1998. Caracterización de la secuencia volcano-sedimentaria Juro– Cretácica en la región de Minas (Lavalleja, Uruguay). **Anais XL Congresso Brasileiro de Geologia**, Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte, p. 96.
- MUZIO, R.; ARTUR, A.; WERNICK, E., 2002. Petrological and geochemical evolution of the Valle Chico Alkaline Massif, southeastern Uruguay. **International Geology Review**, **44** (4): pp. 352 – 369.
- MUZIO, R.; VEROSLAVSKY, G., MORALES, E., 2004. Geología de la Sierra de San Miguel, departamento de Rocha (Uruguay). **Actas IV Congreso Uruguayo de Geología**, versión CD-ROM, Montevideo.
- MUZIO, R.; CONTI, B.; SCAGLIA, F. & MORALES, E., 2008. Las calderas de Lascano–Sierra de los Ajos, Cuenca Laguna Merín (SE–Uruguay). **Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología** **15**, 54 – 62.
- MUZIO, R.; MORALES, E.; VEROSLAVSKY, G.; CONTI, B., 2009. The Arequita Formation (Lower Cretaceous): Petrographic features of the volcanic facies in the Laguna Merín Basin, East Uruguay. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, Vol. 16, 1: 19-28.
- PORTA, N. 2016. **Petrología de las rocas volcánicas del cerro del Cuervo (Formación Arequita, departamento de Lavalleja).** Trabajo final de Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias – UDELAR, 55 pp.
- ROSSELLO, E.; DE SANTA ANA, H.; & VEROSLAVSKY, G., 2000. El lineamiento Santa Lucía – Aiguá – Merín (Uruguay): un corredor extensivo y transcurrente dextral precursor de la apertura Atlántica. **Revista Brasileira de Geociencias** **30** (4): pp. 749 – 756.
- ROSSELLO, E.; VEROSLAVSKY, G.; MASQUELIN, H. & DE SANTA ANA, H., 2007. El corredor tectónico juro-cretácico Santa Lucía-Aiguá-Merín (Uruguay): evidencias cinemáticas transcurrentes dextrales y controles estructurales preexistentes. **Revista de la Asociación Geológica Argentina** **62** (1): pp. 1 – 13.

- SOMMER, C.; FERNANDES, E.; PIEROSAN, R.; MACHADO, A., 2011. Reognimbritos e ignimbritos de alto grau do vulcanismo Acampamento Velho, RS: origem e temperatura de formação. **Revista Brasileira de Geociências** 41(3): 420-435.
- STEWART, K.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M., 1996. 3-D $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology in the Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters** 143: pp. 95 – 109.
- UCHA, N.; DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G., 2003. La Cuenca de Punta del Este: geología y potencial hidrocarburífero. In: VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (EDS.): **Cuencas sedimentarias del Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico**. DIRAC – Facultad de Ciencias, Montevideo, pp. 171 – 190.
- WALKER, G., 1983. Ignimbrite types and ignimbrites problems. **Journal Volcanology and Geothermal Research** 17: 65 – 68.
- WHALEN, J.B., CURRIE, K.L. & CHAPPELL, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 95, pp. 407–419.
- WALTHER, K., 1927. Contribución al conocimiento de las rocas basálticas de la Formación de Gondwana en la Sud-América. **Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones** 9, 1 – 43 pp.