

El complejo de lacolitos Cerro Mudadero (Grupo Choiyoi), Cordillera Frontal de Calingasta, provincia de San Juan.

Rocher, S.(1), Vallecillo, G. (2), Castro de Machuca, B. (3, 4)

The Cerro Mudadero laccolith complex (Choiyoi Group), Cordillera Frontal of Calingasta, San Juan Province.

Abstract

The Cerro Mudadero volcanics of the pampa de Ansilta (Calingasta valley, San Juan, western Argentina) correspond to a rhyolite sequence belonging to the Choiyoi Group (Permo-Triassic), whose most prominent geological feature is the presence of a group of subvolcanic intrusives emplaced as closely spaced shallow laccoliths. Intrusives are represented by several rock bodies of poor to moderately porphyritic, fine to medium grained rhyolite, with well developed flow foliations and devitrification textures, including spherulites, lithophysae and miarolitic cavities. The rhyolites form the core of local hills and are surrounded by outcrops of the wall rock volcanic sequence, whose beds shows a tendency to form structural domes defining a laccolith geometry, with flat bases and curved roofs. The reconstruction of geological cross sections allows to interpret a common stratigraphic level of emplacement, lateral connections, and synchronicity between intrusions during injection from multiple feeder channels. Zr/Nb and Zr/Y ratios indicate that the rocks of the laccolith complex are co-genetic with that intruded volcanic pile. The level of intrusion was very shallow, probably <150 m depth, maximum thickness of the overlying volcanic sequence. The estimated maximum possible viscosities range between 7.94×10^6 and 4.72×10^6 Pa s, considering zirconium saturation temperatures between 784 and 816° C and an arbitrary H₂O content of 2 %. The relatively low calculated viscosities would explain the almost laminar morphology observed in the units, whose thickness/diameter relations are in the range of 1: 10–1: 15. The volatile content in the magma must have been sufficiently low as to inhibit its explosive eruption and the presence of a marked rheological contrast in the wall rock sequence would have limited its ascent to the surface.

Keywords: Choiyoi Group/Permo-Triassic/Laccolith complex/Cordillera Frontal/

Resumen

Las volcanitas de cerro Mudadero, en la pampa de Ansilta (valle de Calingasta), corresponden a una secuencia riolítica perteneciente al Grupo Choiyoi (Permo-Triásico), cuyo rasgo geológico más saliente es la presencia de un grupo de intrusivos sub-volcánicos emplazados como lacolitos someros cercanamente espaciados. Los intrusivos corresponden a varios cuerpos riolíticos pobre a moderadamente porfídicos, de grano fino a medio, con buen desarrollo de foliación de flujo y texturas de desvitrificación, incluyendo esferulitas, litofisas y cavidades miarolíticas. Las riolitas conforman el núcleo de los cerrillos locales y son rodeados por afloramientos de la secuencia volcánica encajante, cuyas capas muestran una tendencia a formar domos estructurales definiendo un modo de yacer lacolítico, con bases planas y techos curvos. La reconstrucción de cortes geológicos permiten interpretar un nivel estratigráfico de emplazamiento en común, conexiones laterales entre intrusiones y sincronidad durante su inyección a partir de múltiples canales de alimentación. Las relaciones Zr/Nb y Zr/Y indican que las rocas del complejo de lacolitos son co-genéticas con la pila volcánica que intruyen. El nivel de intrusión fue muy somero, probablemente <150 m de profundidad, espesor máximo de la secuencia volcánica suprayacente. Las máximas viscosidades posibles estimadas, oscilan entre $7,94 \times 10^6$ y $4,72 \times 10^6$ Pa s, teniendo en cuenta temperaturas de saturación de zirconio comprendidas entre 784 y 816°C y un contenido arbitrario de H₂O del 2 %. Los valores relativamente bajos en las viscosidades calculadas se vincularían con la morfología casi laminar observada en las unidades, caracterizadas por relaciones espesor/diámetro en torno a 1: 10–1: 15. El contenido en volátiles en los magmas debe haber sido lo suficientemente bajo como para inhibir su erupción explosiva y la presencia de un marcado contraste reológico en la secuencia encajante habría limitado su ascenso hacia la superficie.

Palabras clave: Grupo Choiyoi/Permo-Triásico/Complejo de lacolitos/Cordillera Frontal/

1: Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja (CRILAR-CONICET), Entre Ríos y Mendoza s/n, Anillaco 5301, La Rioja, Argentina 2: Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), Ignacio de la Rosa y Meglioli 590 (O), Complejo Universitario 'Islas Malvinas', Rivadavia 5400, San Juan, Argentina. email srocher@crilar-conicet.gob.ar 3: Instituto de Geología (INGEO), FCEfyN, UNSJ.4: CONICET

Introducción

Las volcanitas de cerro Mudadero (al oeste del valle del río de los Patos, Calingasta, provincia de San Juan; corresponden a una secuencia riolítica asignada de manera indiferenciada al Grupo Choiyoi (Permo-Triásico). El rasgo geológico más saliente, no descrito con anterioridad, es la presencia de un grupo de intrusivos sub-volcánicos emplazados como lacolitos someros cercanamente espaciados. Los afloramientos de cerro Mudadero ofrecen una buena oportunidad para el estudio de este particular modo de ocurrencia en secuencias volcánicas, así como comprender los mecanismos eruptivos y de emplazamiento del volcanismo del Grupo Choiyoi.

Materiales y Métodos

El trabajo incluyó tareas de fotointerpretación, mapeo geológico, identificación y descripción de facies volcánicas, levantamiento de datos estructurales y secciones estratigráficas y estudio de secciones delgadas. Se realizaron análisis químicos en roca total en los laboratorios de ALS Chemex, Vancouver, Canadá, utilizando espectrometría de emisión atómica en plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) para la determinación de los elementos mayores, y espectrometría de masa en plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para la determinación del contenido en Zr, Nb e Y.

Marco Geológico

La geología del área del cerro Mudadero, en particular la de las volcanitas permo-triásicas, puede conceptualizarse a través de tres unidades definidas en este trabajo de manera informal: la Toba Agua del Álamo, la Ignimbrita Cerro Mudadero y la Riolita Loma Redonda. La unidad estratigráficamente más baja corresponde a la Toba Agua del Álamo, la cual consiste en una sucesión de areniscas tobáceas y tobas bentoníticas estratificadas. Sobre estas se dispone la Ignimbrita Cerro Mudadero, formada por varias unidades de flujo ignimbríticas. Finalmente se reconoce a la Riolita Loma Redonda, la que constituye un conjunto de cuerpos intrusivos riolíticos. Las relaciones entre las unidades están marcadas por la presencia de macizos riolíticos en el núcleo de las serranías, rodeados por capas tobáceas o ignimbríticas que inclinan hacia afuera, marcando una tendencia a formar domos estructurales y definiendo un modo de yacer lacolítico, con bases planas y techos curvos. El nivel de intrusión aprovechado por las riolitas parece corresponderse aproximadamente al plano que separa a la Toba Agua del Álamo de la Ignimbrita Cerro Mudadero. La reconstrucción de perfiles geológicos permite interpretar un nivel estratigráfico de emplazamiento en común, conexiones laterales entre intrusiones y sincronidad durante su inyección a partir de múltiples canales de alimentación. Este rasgo es semejante al de ejemplos mundiales de complejos de lacolitos tales como los del Iron Axis Group del Mioceno de Utah, EE. UU. (Hacker et al., 2007), o los del Permo-Carbonífero de Alemania (Breitkreuz y Mock, 2004).

El complejo de lacolitos Cerro Mudadero Los lacolitos de cerro Mudadero (Fig. 1A) comprenden varios cuerpos riolíticos, mineralógicamente simples (compuestos por fenocristales de feldespatos alcalinos, cuarzo, biotita, anfíbol y óxidos de Ti-Fe más circón y apatito accesorios), pobre a moderadamente porfídicos, de grano fino a medio. Las texturas varían desde granofíricas y micropoiquilíticas, a esferulíticas. Las texturas esferulíticas tienden a ubicarse hacia la periferia de los cuerpos, en donde aparecen también litofisas y cavidades tipo miarolíticas (Figs. 1B y C), mientras que hacia el interior se hacen dominantes las texturas granofíricas (Fig. 1D). Internamente muestran el desarrollo de una marcada foliación de flujo (Figs. 1E y F). La estructura fluidal está caracterizada por una fina foliación de flujo que desarrolla bandas plegadas y replegadas. Las laminaciones contorsionadas de espesor milimétrico también se observan a escala de afloramiento formando grandes pliegues de flujo (Fig. 1E). En cuanto a la geometría de los cuerpos, las dimensiones son variables entre espesores máximos de 100 a 280 m y diámetros de entre 1100 y 1400 m, dando lugar a relaciones diámetro/altura de entre 11 y 15.

Parámetros físicos

Las viscosidades máximas posibles, calculadas a partir de datos de análisis químicos, mediante la aplicación del modelo de Giordano et al. (2008) oscilan entre $2,37 \times 10^{10}$ y $1,62 \times 10^{10}$, teniendo en cuenta temperaturas de saturación de zirconio comprendidas entre 784 y 816° C según el modelo de Watson y Harrison (1983) y sobre una base libre en volátiles. Con un contenido arbitrario de H₂O del 2 %, las viscosidades correspondientes son hasta 4 órdenes de magnitud más bajas, $7,94 \times 10^6$ y $4,72 \times 10^6$ Pa s respectivamente, apartándose de los valores típicos para fundidos naturales con contenidos en SiO₂ similares, y más próximos a los de fundidos de composición dacítica.

Geoquímica

Las volcanitas de cerro Mudadero corresponden a riolitas de alta sílice, con valores de SiO₂ comprendidos entre 78,2 y 75,1 %, y Al₂O₃ entre 12,7 y 11,7 %. Los contenidos en álcalis son dispersos y relativamente altos con K₂O Na₂O próximos al 8 % en promedio para el total. El TiO₂ en su lugar, presenta valores bajos, 0,16 %. Las rocas analizadas presentan grados leves de alteración de tipo deutérica y sin-volcánica y se encuentran afectadas por desvitrificación de alta temperatura, por lo que para su clasificación química se consideran más confiable aquellos esquemas basados en elementos traza y de carácter inmóvil. De acuerdo al diagrama Zr/TiO₂—Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) las rocas de la Ignimbrita Cerro Mudadero y la Riolita Loma Redonda se proyectan muy próximas entre sí sobre el campo de las riolitas señalando una estrecha relación. Por otro lado, las relaciones Zr/Nb ($16,4 \pm 2$) y Zr/Y ($5 \pm 0,7$) indican que las rocas del complejo de lacolitos son co-genéticas con la pila volcánica que intruyen.



Resultados y Discusión

Las volcanitas de cerro Mudadero presentan características geológicas particulares en comparación con otras localidades del Grupo Choyoi de Cordillera Frontal (Cortés, 1985; Strazzere y Gregori, 2005; Koukharsky y Avellaneda, 2006; Vallecillo et al., 2010; Rocher y Vallecillo, 2014; entre otros). Su rasgo más saliente, no descrito con anterioridad, es la presencia de un grupo de intrusivos sub-volcánicos emplazados como lacolitos someros cercanamente espaciados.

El modo de yacencia lacolítico es definido por la geometría de los cuerpos de riolita porfídica (agrupados en este trabajo bajo el nombre de Riolita Loma Redonda), caracterizados por bases planas y techos curvos, cubiertos de manera concordante por capas de la secuencia encajante.

La reconstrucción de perfiles geológicos permite interpretar un nivel estratigráfico de emplazamiento en común, conexiones laterales entre intrusiones y sincronidad durante su inyección a partir de múltiples canales de alimentación, características semejantes a la de complejos de lacolitos (e.g., Hacker et al., 2007; Breitreuz y Mock, 2004). Las texturas de desvitricación de alta temperatura reconocidas en las rocas que componen a los lacolitos reflejan la historia de enfriamiento de los magmas. Los bordes esferulíticos indican tasas de enfriamiento más rápidas en las zonas de borde, en comparación con los núcleos dominados por texturas granofíricas, las cuales son generadas a tasas de enfriamiento más lentas (Logfren, 1971; McArthur et al., 1998). Esta zonación textural es semejante a la que caracteriza a las lavas riolíticas (Christiansen y Lipman, 1966). Las litofis y cavidades mirolíticas indican la presencia considerable de volátiles y condiciones de presión bajas (0,05–5 MPa; Breitreuz, 2013).

Por otro lado, las relaciones Zr/Nb y Zr/Y indican que las rocas del complejo de lacolitos son co-genéticas con la pila volcánica que intruyen y por lo tanto comparables en edad.

Estas observaciones implican que el nivel de intrusión debe haber sido muy somero, probablemente <150 m de profundidad, espesor máximo de la pila volcánica suprayacente. Si bien, las profundidades de emplazamiento bajas tienden a favorecer la generación de lacolitos de formas campanulares debido a la reducida presión litostática, la morfología casi laminar observada en las unidades podría explicarse a partir de los relativamente bajos valores de viscosidad calculados.

El contenido en volátiles en los magmas debe haber sido lo suficientemente bajo como para inhibir su erupción explosiva y la presencia del marcado contraste reológico existente entre la Toba Agua del Álamo y la Ignimbrita Cerro Mudadero en la secuencia encajante habría limitado su ascenso hacia la superficie (e.g., Roman-Berdiel et al., 1995). El complejo de lacolitos cerro Mudadero constituye un particular modo de emplazamiento para el Grupo Choyoi y un excelente caso de estudio de este tipo de intrusivos someros.

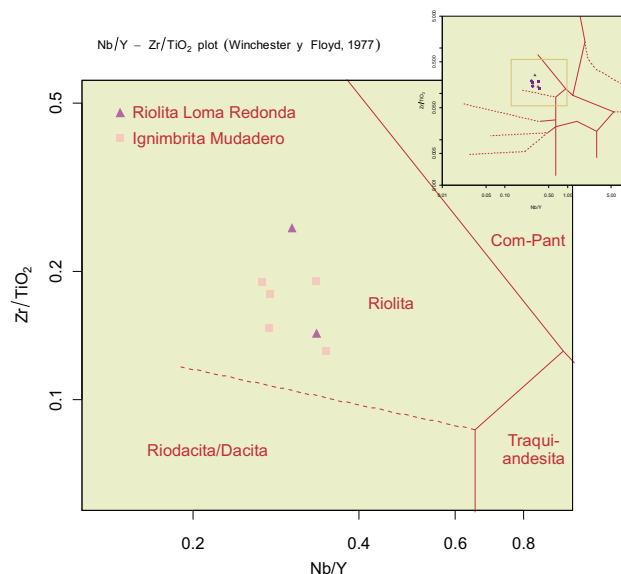


Figura 2. Clasificación en base a elementos traza de Winchester y Floyd (1977) de las volcanitas de cerro Mudadero

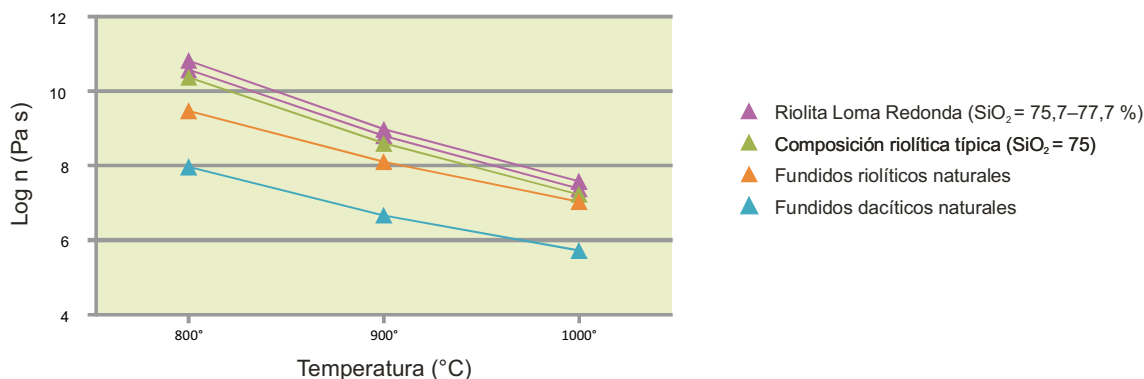


Figura 3. Curvas temperatura—viscosidad para la Riolita Loma Redonda en base al modelo de Giordano et al. (2008) sobre base libre en volátiles. Los valores obtenidos son comparables con los de composiciones riolíticas típicas, también en condiciones libres en volátiles (valores de Spera, 2000). La viscosidad de la Riolita Loma Redonda asumiendo arbitrariamente un contenido en H₂O del 2 % se reduciría a valores semejantes a los de fundidos dacíticos naturales.

Referencias Bibliográficas

Breitkreuz, C., 2013. Spherulites and lithophysae—200 years of investigation on high-temperature crystallization domains in silica-rich volcanic rocks. *Bulletin of Volcanology* 75: 705–721.

Breitkreuz, C., Mock, A., 2004. Are laccolith complexes characteristic of transtensional basin systems—Examples from the Permo-Carboniferous of Central Europe. En: Breitkreuz, C. Petford, N. (eds), *Physical Geology of High-Level Magmatic Systems*. Geological Society of London, Special Publications 234: 13–31.

Christiansen, R.L., Lipman, P.W., 1966. Emplacement and thermal history of a rhyolite lava flow near Fortymile Canyon, Southern Nevada. *Geological Society of America Bulletin* 77: 671–684.

Cortés, J.M. 1985. Volcanitas y sedimentitas lacustres en la base del Grupo Choiyoi al sur de Estancia Tambillos, Mendoza, Argentina. En: 4° Congreso Geológico Chileno. Antofagasta, Actas 1: 89–108.

Giordano, D., Russell, J.K., Dingwell, D.B., 2008. Viscosity of magmatic liquids: A model. *Earth and Planetary Sciences Letters* 271: 123–134.

Hacker, D.B., Petronis, M.S., Holm, D.K., Geissman, J.W., 2007. Shallow level emplacement mechanisms of the Miocene Iron Axis Laccolith Group, southwest Utah. *Geological Society of America Rocky Mountain Section, Utah Geological Association Publication* 35, 49 pp.

Koukharsky, M., Avellaneda, D., 2006. Peperitas del Paleozoico superior en la margen norte del río Mendoza, borde oriental de la Cordillera Frontal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (3): 449–451.

Lofgren, G., 1971. Spherulitic textures in glassy and crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research* 76: 5635–5648.

McArthur, A.N., Cas, R.A.F., Orton, G.J., 1998. Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales). *Bulletin of Volcanology* 60: 260–285.

Rocher, S., Vallecillo, G.M., 2014 aceptado para su publicación. Mecanismos eruptivos y procesos depositacionales del Grupo Choiyoi en el área de Las Caletas, Cordillera Frontal de San Juan. *Andean Geology*.

Roman-Berdiel, T., Gapais, D., Brun, J.P., 1995. Analogue models of laccolith formation. *Journal of Structural Geology* 17: 1337–1346.

Spera, F.J., 2000. Physical properties of magma. En: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, London, UK, pp. 171–190.

Strazzere, L., Gregori, D.A., 2005. Interpretación de la sucesión volcanoclástica del Grupo Choiyoi en la Quebrada de Santa Elena, Precordillera de Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(3): 486–494.

Vallecillo, G.M., Caballero, M.M., Rocher, S., Espin, E., 2010. Análisis del Grupo Choiyoi (Permo-triásico), Cordillera Frontal de Calingasta, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(1): 236–250.

Watson, E.B., Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Sciences Letters* 64: 295–304.

Winchester, W., Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325–343.