

Influencia de la textura y mineralogía de rocas volcánicas de la región mesopotámica, patagónica y sur de Mendoza en su potencial comportamiento reactivo

P. Arias^{a*}, L. Madsen^{a,b}, F. D. Bianchi^{a,c}

^aUniversidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geología, CP 8000, Bahía Blanca, Argentina, ariaspatricia124@gmail.com

^bCentro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (CGAMA, CIC-UNS), CP 8000, Bahía Blanca, Argentina. lenis.madsen@uns.edu.ar

^cInstituto Geológico del Sur (INGEOSUR, CONICET-UNS). fdbianchi@ingeosur-conicet.gob.ar

Recibido: 18 de diciembre de 2024

Aceptado: 15 de abril de 2025

RESUMEN

En Argentina numerosos afloramientos de rocas volcánicas ácidas y básicas son utilizados como fuente de agregados pétreos para hormigón. Si bien sus características físico-mecánicas permiten su uso como agregado, al ser rocas de origen volcánico pueden contener materiales potencialmente reactivos susceptibles a la reacción álcali-sílice. La variación textural y mineralógica, la composición y paragénesis mineral, así como los minerales secundarios presentes, son factores indispensables a ser evaluados para predecir el comportamiento en obra de estos agregados. La mayoría de las rocas estudiadas resultan ser potencialmente reactivas desde el punto de vista petrográfico, debido a la presencia de vidrio fresco o parcialmente desvitrificado, arcillas y sílice amorfa. Los basaltos mostraron reactividad variable, desde nula a extrema, mientras que las riolitas presentan reactividad moderada. Complementariamente, para las mismas muestras se recopilieron datos bibliográficos y de ensayos físicos normalizados, para evaluar el comportamiento en el mortero y/o en el hormigón en obra.

PALABRAS CLAVE: Vulcanitas, reacción álcali-sílice, análisis petrográfico

ABSTRACT

Numerous outcrops of basic and acidic volcanic rocks from Argentina are used as a source of concrete aggregates. Although their physical-mechanical properties make them suitable for use as aggregates, they may contain potentially reactive materials sensitive to the alkali-silica reaction due to their volcanic nature. The textural or mineralogical variation, mineral composition and paragenesis, as well as the secondary minerals, are essential factors to be evaluated in order to predict the aggregate behaviour in construction. Most of the rocks studied are potentially reactive from a petrographic point of view, due to the presence in the groundmass of fresh or partially devitrified glass, clays and amorphous silica. The basalts show variable reactivity, ranging from zero to extremely reactive, while the rhyolites show moderate reactivity. In addition, in order to evaluate their behaviour in mortar and/or concrete, data were collected from standardized physical tests and bibliographies belonging to the same samples studied.

KEYWORDS: Vulcanites, alkali-silica reaction, petrographic analysis

*Autor de correspondencia

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: Arias, P., Madsen, L., y Bianchi, F. D. (2025). Influencia de la textura y mineralogía de rocas volcánicas de la región mesopotámica, patagónica y sur de Mendoza en su potencial comportamiento reactivo. *Revista Hormigón, XX*, en prensa. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/f7wcfaaal>

1. Introducción

Las rocas volcánicas basálticas y riolíticas cubren grandes extensiones en diferentes regiones de Argentina, dentro de las cuales se destacan los basaltos de la meseta de Somuncurá en la Patagonia, los basaltos toleíticos de la Mesopotamia y las riolitas de las provincias de Río Negro y Chubut. Si bien por sus características físico-mecánicas son rocas aptas para ser usadas como agregados para hormigón, pueden contener especies mineralógicas que las tornen potencialmente reactivas frente a los álcalis [1], tales como vidrio volcánico (fresco o alterado, principalmente a minerales arcillosos) y sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita y cuarzo secundario) [2]. Estos componentes pueden combinarse bajo ciertas condiciones de humedad (y temperatura) con los hidróxidos alcalinos (OH^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+) presentes en la solución de poro de morteros y hormigones, dando lugar a la formación de un gel de características expansivas, el cual genera efectos nocivos en las estructuras dando lugar al proceso denominado reacción álcali-sílice (RAS) [3-4].

A su vez, tanto la información geológica como el origen del agregado deben ser contemplados ya que existen rocas que, aunque comparten una misma génesis y ubicación geográfica, difieren en su comportamiento cuando son utilizadas como agregado para hormigón. Por tal motivo también debe evaluarse, por ejemplo, la incidencia de los minerales secundarios producto de la alteración de la paragénesis inicial [5].

Según la norma IRAM 1531 [6], rocas como riolitas y basaltos pueden presentar constituyentes potencialmente reactivos frente a los álcalis, tales como: vidrio intersticial en la pasta de la roca (fresco o desvitrificado), cristobalita/tridimita, venillas o vesículas rellenas de ópalo o calcedonia (sílice microcristalina/criptocristalina) y, en el caso de las riolitas, además puede identificarse cuarzo micro o criptocristalino. A su vez, en rocas

basálticas, es común la presencia de arcillas del grupo de las esmectitas, considerada como una sustancia perjudicial, capaz de afectar la vida útil de las estructuras, por lo cual su identificación y cuantificación es relevante. Por ello, el examen petrográfico es el primer método a aplicar en la caracterización de un agregado para definir su potencial reactividad ante la RAS.

Por otra parte, la identificación y cuantificación de sustancias reactivas y perjudiciales mediante la norma IRAM 1649 [7], permite determinar los métodos de ensayos más convenientes para evaluar el comportamiento del agregado, como así también interpretar los resultados obtenidos mediante los ensayos físicos establecidos en las normas IRAM 1674 e IRAM 1700 [8-9], dependiendo si los componentes reactivos identificados mediante la petrografía son considerados de reacción rápida (sílice pobremente cristalizada como ópalo, tridimita, cristobalita o el vidrio volcánico) o lenta (cuarzo microcristalino, fuertemente tensionado o deformado). En caso de discrepancia entre los resultados obtenidos por la petrografía y por los ensayos físicos, se deben optar como válidos los resultados obtenidos con el método convencional del prisma de hormigón [6]. Finalmente, si el agregado resulta potencialmente reactivo, sólo puede utilizarse si se toman medidas preventivas (prestacionales o prescriptivas) indicadas en la norma IRAM 1531 [6].

En el presente trabajo se realizó un análisis de las características microtexturales y mineralógicas de rocas basálticas y riolíticas de varios afloramientos naturales y frentes de canteras de Argentina, con el objetivo de evaluar no solo su potencial reactividad frente a la RAS, sino también determinar si existe una relación entre el tipo de arreglo textural y/o grado de alteración de las distintas rocas con su potencial reactivo, más allá del tipo litológico (basalto/riolita) y el origen de las mismas.

Los estudios petrográfico-mineralógicos se llevaron a cabo en función de las normativas

vigentes (IRAM 1531 [6], IRAM 1649 [7]). Complementariamente, se recopilaron datos de ensayos físicos normalizados (método acelerado de barra de mortero según IRAM 1674 [8] y método del prisma de hormigón según IRAM 1700 [9]) y registros bibliográficos de comportamiento de agregados en obras, para evaluar la incidencia del uso de dichos agregados, y poder así estudiar a las rocas de forma integral.

1.1. Antecedentes de rocas basálticas y riolíticas como agregados en hormigón

Cuando se utilizan agregados basálticos en el hormigón hay que tener en cuenta dos factores asociados a la RAS: en primer lugar, la variación textural y mineralógica en conjunto con la composición y paragénesis mineral; y, en segundo lugar, la naturaleza de los minerales secundarios que derivan de la alteración de la paragénesis inicial [10].

Diversos autores [1,5,11-13] evaluaron el comportamiento frente a la RAS de rocas basálticas provenientes de diferentes canteras en la Mesopotamia (Argentina), a quienes el estudio petrográfico les permitió concluir que la principal causa del comportamiento deletéreo correspondía a la presencia de vidrio volcánico (fresco o alterado a minerales arcillosos) y sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita, cuarzo secundario). Sobre el mismo tipo de rocas, los autores evaluaron su potencial reactividad mediante el ensayo del prisma de hormigón (norma IRAM 1700 [9]), concluyendo que los que presentaron mayor expansión fueron los hormigones realizados con los agregados basálticos de textura más fina. Esto se debe a que los espacios intersticiales en rocas con textura fina están ocupados por vidrio relicto original, mientras que las texturas más gruesas generan espacios intercristalinos de mayor tamaño donde se alojan microcristales de composición semejante a su entorno. Por otro lado, en estudios previos [11,14-15], se analizó el impacto de los minerales arcillosos en estas

rocas mediante ensayos acelerados de barra de mortero. Se encontró que la esmectita, distribuida de manera intersticial en la masa del basalto, al degradarse por el ataque alcalino, libera sílice y álcalis solubles en la solución de poro, favoreciendo el desarrollo de la RAS.

Agregados provenientes de Río Negro, Chubut, Neuquén y Mendoza, fueron objeto de numerosos estudios [11,16-21] demostrando que la mayoría de las rocas, tanto de composición basáltica como riolítica, son potencialmente reactivas frente a los álcalis. Los métodos petrográficos y físicos, más específicamente el método acelerado de la barra de mortero según la norma IRAM 1674 [8] para evaluar la potencial reactividad, permitieron concluir que las principales causas del comportamiento deletéreo son la presencia de vidrio volcánico (tanto fresco como alterado a minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita), la argilización de la roca y la presencia de sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita y cuarzo secundario de grano fino). En trabajos previos, Tiecher et al. [22], al estudiar diferentes tipos de mesostasis presentes en basaltos y riolitas, concluyeron que la composición y distribución de la pasta en la roca son los principales factores que potencian la reactividad en una roca volcánica, no así la proporción de pasta frente a la de fenocristales.

Por otra parte, en otros estudios [23-24] fue evaluada la potencial reactividad de riolitas y tobas provenientes de Río Negro y Chubut. De estas investigaciones se concluyó que aquellas rocas cristalinas con pastas de grano grueso resultaron ser inocuas, mientras que aquellas que presentan pastas vítreas, sílice microcristalina y minerales arcillosos, evidenciaron efectos deletéreos frente a la RAS. Estos autores además concluyeron que este comportamiento es atribuible a la variación en el contenido de vidrio volcánico, la textura, el tamaño de grano y el grado de alteración de cada roca. También mencionan que si bien se detectan procesos de alteración

a minerales arcillosos es importante identificarlos, ya que la presencia de montmorillonita puede ser muy perjudicial desde el punto de vista expansivo.

2. Materiales

Los ejemplares estudiados provienen de muestras de agregados de distintos frentes de canteras o afloramientos y representan el volcanismo básico y ácido del Mesozoico y Cenozoico ocurrido en la Mesopotamia, sur de Mendoza y Patagonia Argentina. Estas muestras se asociaron en 21 grupos (15 de basaltos y 6 de riolitas) según el tipo de roca y su procedencia. Del total de las secciones analizadas, 18 corresponden a la Formación Serra Geral (Mesopotamia), provenientes de 5 canteras; 2 pertenecen a los afloramientos de la Formación El Puente (Mendoza), 2 al Basalto Zapala (Neuquén), 11 a la Formación Somuncurá y Basalto Coli Toro en Río Negro; y 7 asignados a la Formación Marifil (Río Negro y Chubut) (Figura 1).

2.1 Descripción geológica de las muestras analizadas

Considerando el total de muestras analizadas en orden cronológico, en aquellas provenientes de las provincias de Río Negro y Chubut se encuentra representado ampliamente el volcanismo Mesozoico. Gran parte de estas efusiones de carácter riolítico se originaron a inicios del Triásico superior – Jurásico medio. Estos afloramientos se agrupan bajo la denominación de Complejo Volcánico Marifil o Formación Marifil [25-27], y están conformados por facies piroclásticas, lavas y rocas hipabisales.

Grandes depósitos de rocas ígneas básicas asignadas a la Formación Serra Geral [28] (Cretácico), se hallan ubicadas en la Mesopotamia Argentina. Esta región

geográfica a su vez forma parte de la cuenca volcano-sedimentaria de Paraná, expuesta en Brasil, Paraguay y Uruguay, ocupando una superficie mayor a 1.400.000 km² con una columna estratigráfica que puede superar los 7000 m de espesor [29]. Estas rocas son basaltos toleíticos de intraplaca con textura dominante de grano fino, mayormente compactos y con tonalidades gris oscura a negra [30].

Por otra parte, grandes eventos máficos volcánicos se han desarrollado desde el Paleoceno caracterizando a la Patagonia Argentina como una de las más grandes regiones magmáticas continentales. En el Oligoceno superior – Pleistoceno, se originaron los derrames basálticos que conforman la meseta de Coli Toro en Río Negro. El basalto homónimo se extiende al oeste de la meseta de Somuncurá en las proximidades de la localidad de Maquinchao. Son coladas delgadas, de aspecto masivo, con textura intergranular a pilotáxica, y fenocristales de labradorita (plagioclasa) y olivino [31,32].

La meseta basáltica de Somuncurá aflora en el sur de Río Negro y norte de Chubut, y es la expresión volcánica cenozoica más extensa de la región, abarcando más de 30.000 km². Se origina con una primera fase en el Oligoceno [33] con efusión de basaltos olivínicos alcalinos [34] adjudicados a la Formación Somuncurá [35]. Se caracterizan por su homogeneidad composicional, tienen color gris, son porfíricos o afíricos y presentan estructura vesicular y amigdaloides [36].

El volcanismo Plioceno de la región patagónica se encuentra representado por el campo lávico de Zapala, ubicado al oeste de la localidad homónima en la provincia de Neuquén. Se dispone como mantos de basaltos olivínicos subhorizontales de tonalidades grises con textura de grano fino [37].

Durante el Cuaternario se desarrolló un intenso volcanismo de basaltos alcalinos agrupados en

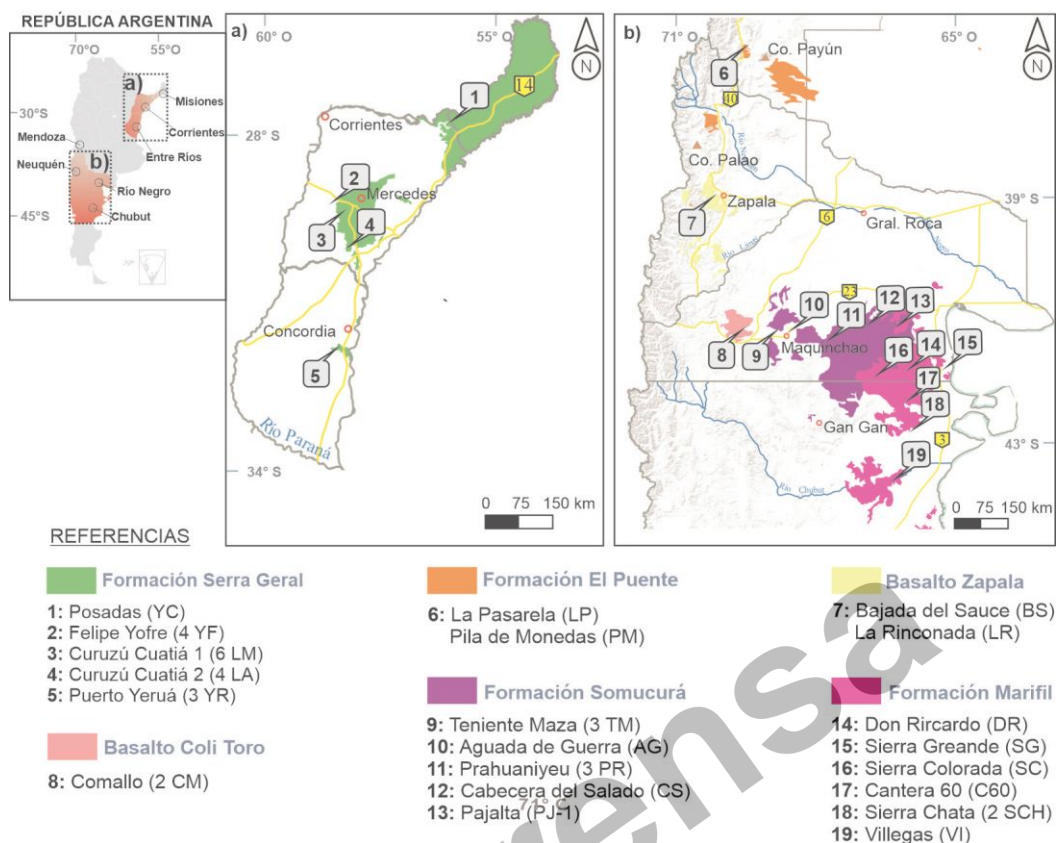


Figura 1. Mapa regional de ubicación de los afloramientos de rocas básicas y ácidas estudiadas. Se incluye la nomenclatura de cada muestra y sitio de muestreo. a) Región Mesopotámica, b) Región Patagónica y Sur de Mendoza.

el Campo Volcánico Payún Matrú [38-39]. La Formación El Puente [40] representa las primeras coladas basálticas emitidas posteriormente al colapso de la caldera Payún Matrú. Aflora al norte de Neuquén cerca del Cerro Palao y al sur de Mendoza, en las inmediaciones del Cerro Payún [41]. Se trata de basaltos piroxénico - olivínicos, con pasta intergranular, vesiculares y de color gris oscuro. Se le atribuye una edad desde el Pleistoceno medio a superior [42].

3. Métodos

Se analizó la composición mineralógica, texturas, moda mineral y grado de alteración de 40 secciones delgadas mediante un microscopio de polarización Leica DM 750P, equipado con cámara y sistema de captura de

imágenes para la toma de fotomicrografías. Las clasificaciones modales se establecieron mediante el diagrama para rocas volcánicas de Streckeisen [43] y LeMaitre [44], propuestos por la International Union of Geological Sciences (IUGS). El método clasificatorio se basa en el porcentaje en volumen de cada mineral (moda) estimado a partir del área observada microscópicamente en cada sección delgada, principalmente de cuarzo (Q), plagioclasa (P) y feldespatos alcalinos (F) en aquellas muestras que presentan un grado de alteración nulo a leve. En las descripciones y comentarios se utilizaron las abreviaturas minerales propuestas por Siivola y Schmid [45].

Para evaluar la reactividad se tuvieron en cuenta las consideraciones de la norma IRAM 1531 [6] vigente desde 2022, así como también los límites establecidos en la versión

del año 2012. Si bien la norma actual ya no cuantifica los componentes o sustancias deletéreas, en este trabajo se hizo la cuantificación modal y la estimación de los minerales/materiales potencialmente reactivos mediante el método Gazzi-Dickinson [46] basado en el conteo de puntos en intervalos de 1 mm sobre toda el área de la sección delgada para determinar la incidencia de los materiales deletéreos en el comportamiento de la roca. A su vez, se hizo hincapié en las texturas y grado de alteración de cada una a fin de establecer si existe correlación con el grado de reactividad.

4. Resultados

4.1 Estudios petrográficos

En la Tabla 1, se resumen las características de las rocas basálticas estudiadas, detallando la asociación mineral y los componentes reactivos identificados. Se incluye el tamaño promedio de los minerales que conforman la roca y la presencia de estructuras vesiculares. Según la clasificación de Streckeisen (1978) [43], las muestras analizadas en este apartado corresponden a basaltos (P = 100 %) ya que carecen de cuarzo (Q), feldespatos alcalinos (A) y feldespatoideos (F), y los minerales máficos son predominantemente piroxeno y olivino.

En general, en los 15 grupos de basaltos analizados se reconoce bajo microscopio una asociación mineral de plagioclasa cálcica (84 % - 48 %), clinopiroxeno (5 % - 39 %), olivino (10 % - 27 %), minerales opacos (4 % - 15 %) y otros minerales accesorios, principalmente apatito en escasa proporción (<1 % - 2 %).

Los basaltos mesopotámicos presentan moderada a fuerte alteración, y se caracterizan por texturas intersertales (Figura 2A) a intergranulares, ocasionalmente porfírica (Figura 2B). Se destacan por la presencia de estructuras vesiculares y fisuras rellenas con arcillas (Figura 2C), material clástico silíceo (Figura 2D), sílice criptocristalina y calcedonia.

Eventualmente, en las muestras de la cantera Felipe Yofre (YF) se identificó intercrecimiento de cuarzo y feldespato alcalino (Qtz+Kfs) (Figura 2E). Petrográficamente, todas las muestras presentan componentes potencialmente reactivos.

En los basaltos patagónicos y los del sur de Mendoza, el grado de alteración es menor, incluso se identificaron ejemplares frescos, que corresponden a los basaltos Zapala y Coli Toro. Las texturas predominantes son del tipo porfíricas, con pastas intergranulares (Figura 2F), microlíticas, pilotáxicas (Figura 2G) y criptocristalinas. En general, el vidrio volcánico se reconoce parcialmente desvitrificado en los intersticios entre los silicatos y en ocasiones fresco. Como producto de la alteración del vidrio suelen reconocerse en estos mismos sectores agregados criptocristalinos de baja birrefringencia y/o arcillas del tipo montmorillonita. A excepción de las muestras del Basalto Zapala y Coli Toro, y PM de la Formación El Puente, todos los basaltos presentan componentes potencialmente reactivos.

En el caso de las rocas ácidas, según el diagrama QAP de Streckeisen (1978) [43], la totalidad de las muestras analizadas corresponden a fenoriotitas y fenoriotitas alcalifeldespáticas al clasificarlas en función a su moda mineral. En la Tabla 2 se resumen las asociaciones minerales y características petrográficas desde el punto de vista de su reactividad alcalina potencial.

Microscópicamente, se reconoció una asociación mineral compuesta por cristales de feldespato potásico (37 % - 73 %), cuarzo (20 % - 39 %), plagioclasa (4 % - 19 %), biotita (3 % - 7 %), minerales opacos (1 % - 3 %), otros accesorios en proporciones menores al 1 % (circón) y ocasionalmente cristales de hornblenda. Las rocas riolíticas analizadas presentan textura porfírica con pasta microfelsítica, y en raras ocasiones felsítica (Figura 3A y 3B, respectivamente). Es habitual la presencia de cuarzo microcristalino con tamaño promedio ~60 μm (Figura 3C).

Tabla 1. Características de las rocas basálticas en función a la reactividad alcalina potencial.
 Pl: plagioclasa, Cpx: clinopiroxeno, Ol: olivino, Op: minerales opacos, Acc: minerales accesorios,
 Vv: vidrio volcánico, Ar: arcillas, Qtz: cuarzo, Qtzm: cuarzo microcristalino, Kfs: feldespatos alcalinos,
 Mcs: material clástico silíceo, Ccd: calcedonia, Sc: sílice criptocristalina. n.v.: no observado. PR:
 Potencialmente Reactivo, NR: No Reactivo.

Ubicación	Muestra	Textura predominante	Grado de alteración	Asociación mineral	MPR ¹ (%)		SN ² (%)	V ³	Tamaño promedio (µm)	Clas. ⁴
					Vv	Otros	Ar			
Mesopotamia (Fm. Serra Geral)	Posadas (YC)	Intersertal	Moderado		~4	n.v.	~5	No	508	PR
	Felipe Yofre (YF)	Intersertal	Moderado a fuerte		~2	Qtz+Kfs	~5	Si	300	PR
	Curuzú Cuatiá 1 (LM)	Intergranular a intersertal	Moderado a fuerte	Pl+Cpx+Op+Acc	~2	Qtzm	~3	Si	270	PR
	Curuzú Cuatiá 2 (LA)	Intergranular a intersertal	Moderado		~2	Mcs	~3	Si	512	PR
	Puerto Yerúa (YR)	Intergranular a intersertal	Moderado		~2	Mcs, Ccd, Sc	~3	Si	633	PR
Mendoza (Fm. El Puento)	PM	Porfírica con pasta pilotáxica	Moderado	Pl+Op+Cpx+Acc	n.v.	n.v.	~4	No	229	NR
	LP	Porfírica con pasta microlítica	Moderado	Pl+Ol+Op+Acc	~1	n.v.	n.v.	No	243	PR
Neuquén (Basalto Zapala)	LR	Porfírica con pasta intergranular	Nulo	Pl+Cpx+Ol+Op+Acc	n.v.	n.v.	n.v.	No	135	NR
	BS	Intergranular	Nulo		n.v.	n.v.	n.v.	No	439	NR
Río Negro (Basalto Coli Toro)	CM	Porfírica con pasta intergranular	Nulo	Pl+Cpx+Ol+Op+Acc	n.v.	n.v.	n.v.	No	295	NR
Río Negro (Fm. Somuncurá)	CS	Porfírica con pasta criptocristalina	Leve a moderado	Pl+Ol+Cpx+Op+Acc	~4	n.v.	n.v.	No	494	PR
	AG	Intersertal	Leve a moderado	Pl+Cpx+Ol+Op+Acc	~3	n.v.	~4	No	509	PR
	TM	Intersertal	Leve a moderado	Pl+Ol+Cpx+Op+Acc	~5	n.v.	n.v.	Si	383	PR
	PR	Porfírica con pasta microlítica/criptocristalina	Leve a moderado	Pl+Ol+Cpx+Op+Acc	~1	n.v.	~1	No	390	PR
	PJ-1	Intersertal	Leve a moderado	Pl+Ol+Cpx+Op+Acc	~5	n.v.	n.v.	No	363	PR

¹MPR: materiales potencialmente reactivos. ²Sustancias nocivas. ³Vesículas. ⁴Clasificación según petrografía.

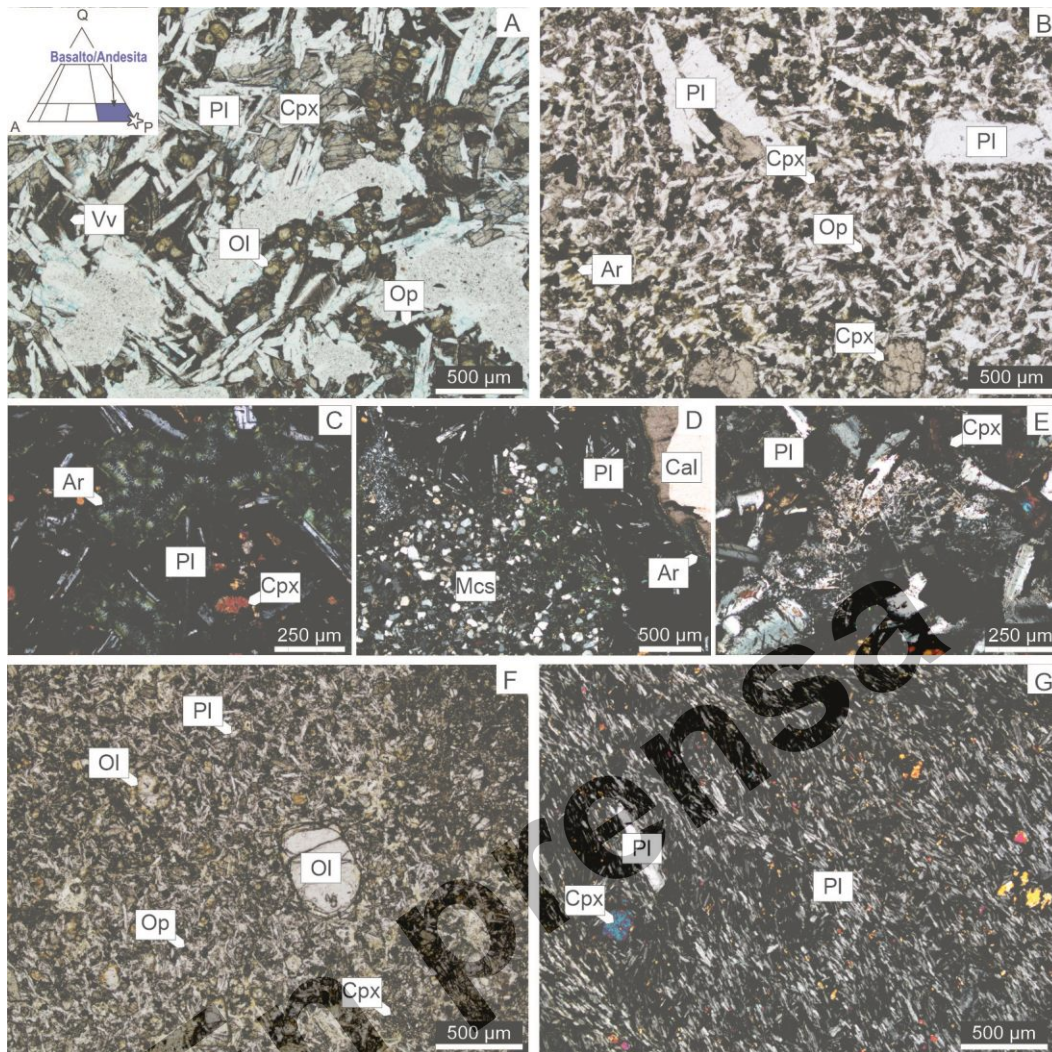


Figura 2. Fotomicrografías de las principales texturas identificadas y componentes potencialmente reactivos. A) Aspecto general de la textura interstital conformada por plagioclasa (Pl), olivino (Ol), clinopiroxeno (Cpx), minerales opacos (Op) y vidrio volcánico (Vv). B) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno rodeados por una pasta intergranular con arcillas (Ar) en los espacios interstiales. C-D) Estructuras vesiculares rellenas por arcillas esmectíticas, material clástico silíceo (Mcs) y calcita (Cal). E) Intercrecimiento de cuarzo y feldespato alcalino. F) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno rodeados por una pasta intergranular conformada por tablillas de plagioclasa, olivino iddingsitizado, clinopiroxeno y minerales opacos. G) Fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno rodeados por una pasta pilotáxica fluidal. En el esquema inserto en A) se muestra la clasificación de todas las muestras en el diagrama QAP. A, B, F: Luz paralela. C, D, E, G: Analizador intercalado.

El tipo de pasta microfelsítica se interpreta como producto del proceso de desvitrificación parcial del vidrio volcánico presente en la mesostasis de la roca y que no ha llegado a formar una textura felsítica como tal. Por tal motivo, se cuantificó el porcentaje de

mesostasis, para estimar el contenido de vidrio fresco y parcialmente desvitrificado, y de cuarzo microcristalino que conforman la pasta. Eventualmente se observó vidrio volcánico fresco en sectores de la pasta con evidencias de fluidez (Figura 3D).

Tabla 2. Características de las rocas riolíticas en función de la reactividad alcalina potencial. Ar: arcillas, Qtzm: cuarzo microcristalino, Vpa: vidrio parcialmente alterado, Vf: vidrio fresco, (*): límite establecido para el Vv según norma IRAM 1531, del año 2012.

Ubicación	Muestra	Textura predominante	Mesostasis (%)	Grado de alteración	Asociación mineral	MPR ¹ (%)		SN ² (%)	V ³	Clas. ⁴
						Vv	Otros	Ar		
Río Negro (Fm. Marifil)	SC		85		Kfs+Qtz+PI +Bt+Op+ Acc	Vpa	Qtzm (~4)	n.v.	No	PR
	SG		90		Kfs+Qtz+PI +Op+Acc	Vpa	Qtzm (~4)	n.v.	No	PR
	DR	Porfírica con pasta microfelsítica	90	Moderado	Kfs+Qtz+PI +Hbl+Bt+ Op+Acc	Vf (<3)*	n.v.	n.v.	No	PR
Chubut (Fm. Marifil)	C60		60		Kfs+Qtz+PI +Bt+Op+ Acc	Vf (<3)*	Qtzm (~4)	n.v.	No	PR
	SCH		78			Vpa.	Qtzm (~5)	n.v.	No	PR
	VI	Porfírica con pasta felsítica	85		Kfs+Qtz+PI +Bt+Op+ Acc	n.v.	n.v.	n.v.	No	NR

¹Materiales potencialmente reactivos. ²Sustancias nocivas. ³Vesículas. ⁴Clasificación según petrografía.

4.2 Ensayos físicos

En las Tablas 3 y 4 se observan los valores de expansión registrados para cada cantera / unidad de los basaltos y riolitas, respectivamente, obtenidos mediante recopilación de resultados arrojados en ensayos de barra de mortero según norma IRAM 1674 [8] y ensayos de prisma de hormigón según IRAM 1700 [9], realizados por diversos autores [11,13-15, 19-21, 23-24, 47-48]. A su vez, se determinó el grado de reactividad alcalina del agregado según lo establecido en el Anexo B-Tabla B.1 de la norma IRAM 1531 (2022) [6].

Complementariamente se adjudicó un grado de reactividad alcalina del agregado en función del análisis petrográfico realizado para determinar si existe relación directa con el grado de alteración, textura e identificación y cuantificación de sustancias nocivas y otras sustancias perjudiciales en el agregado. Los agregados sin presencia de materiales potencialmente reactivos se indican en color

verde; en amarillo, los agregados que presentan materiales reactivos en cantidades inferiores a las especificadas por la norma IRAM 1531 (2012); en naranja, aquellos que contienen más de una sustancia reactiva; y en rojo, los que presentan más de dos sustancias reactivas, en cantidades que exceden los límites establecidos por la norma.

5. Discusión

Del análisis comparativo entre los ensayos físicos normalizados y el análisis petrográfico, de la Tabla 3 se desprende que los agregados más reactivos se condicen con las texturas de tipo intersertal/intergranular de grano más grueso, como es el caso de las muestras de la región mesopotámica: YC, LA e YR. Estos ejemplares, a su vez presentan los valores más elevados de materiales potencialmente reactivos. Si bien la cantidad de vidrio volcánico relíctico es escasa, la alteración del mismo dio lugar a la formación de agregados

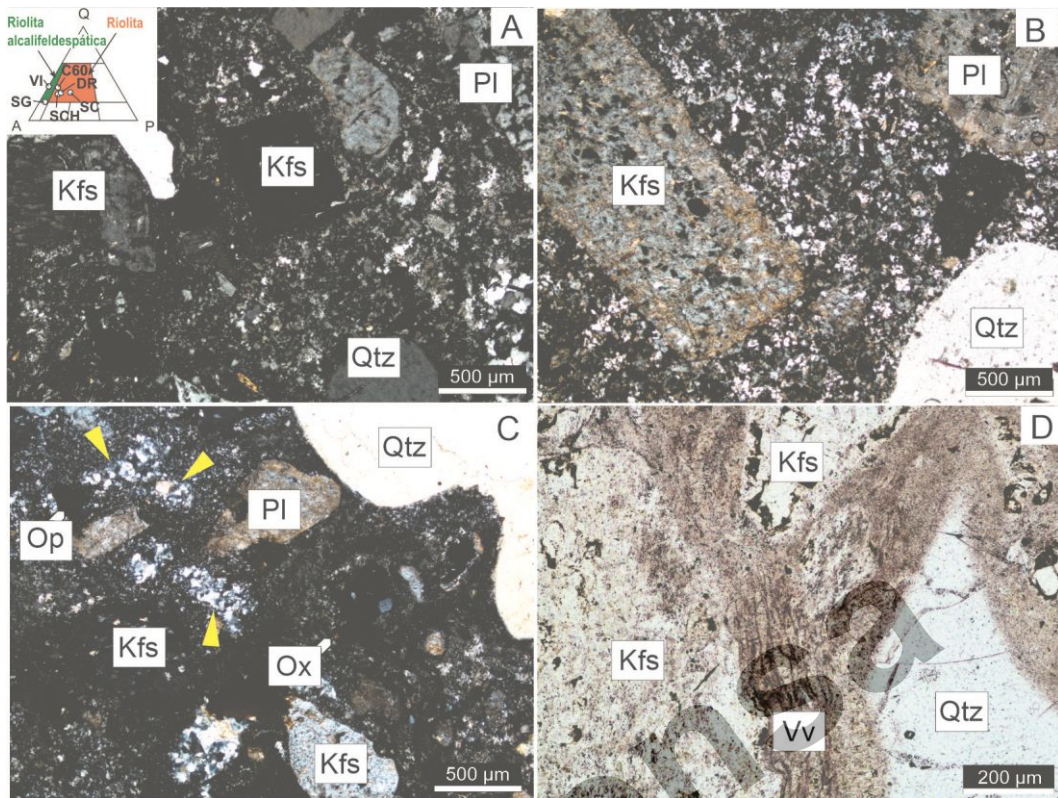


Figura 3. A) Aspecto general de la textura porfírica con pasta microfelsítica conformada por feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (PI) y cuarzo (Qtz). B) Pasta felsítica compuesta de un agregado equigranular de cuarzo y feldespatos rodeando fenocristales de feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (PI) y cuarzo (Qtz). C) Pasta microfelsítica, por sectores afectada por oxidación (Ox) asociada a minerales opacos (Op) y desarrollo de cuarzo microcristalino (flecha amarilla). Fenocristales de plagioclasa (PI) y feldespato potásico (Kfs) pervasivamente alterados. D) Vidrio volcánico fresco (Vv) en un sector de la pasta con evidencia de fluidez rodeando a fenocristales de cuarzo (Qtz) y feldespato potásico (Kfs). En el esquema inserto en A) se muestra la clasificación de todas las muestras en el diagrama QAP. A, B, C: Analizador intercalado. D: Luz paralela.

criptocristalinos y arcillas esmectíticas, contribuyendo al comportamiento deletéreo.

El tamaño promedio medido permite presuponer que el aumento en el tamaño de grano implicaría un mayor espacio intercrystalino donde se alojarían los materiales que promueven la RAS. Sin embargo, Rocco et al. [13] afirman que las texturas más gruesas generan espacios intercrystalinos donde se alojan microcristales de composición semejante a su entorno, registrando expansiones menores en prismas de hormigón convencional. Por lo dicho anteriormente, sin lugar a dudas la presencia de vesículas y fisuras rellenas con sílice criptocristalina, calcedonia y/o material clástico silíceo

registrada en estos agregados es responsable del incremento en el grado de reactividad de estas rocas. Este comportamiento también se evidencia en una muestra vesicular de la Formación Somuncurá (TM) reactiva, clase R2 según la norma IRAM 1674 [8].

Los basaltos que registran moderada reactividad, clase R1 (YF y LM), presentan arreglos texturales similares, pero de grano más fino respecto a los descritos anteriormente, por lo cual los espacios intercrystalinos donde se aloja el vidrio volcánico fresco y alterado a arcillas esmectíticas tendrían menor desarrollo espacial y por lo tanto sería menor la relación entre los cristales y la mesostasis.

Tabla 3. Valores de expansión en barras de mortero y prisma de hormigón para cada cantera / unidad.

En rojo (R3): extremadamente reactivo, en naranja (R2): altamente reactivo, en amarillo (R1): moderadamente reactivo y en verde (R0) se presentan los valores que califican al agregado como inocuo. Se incluyen texturas principales, porcentajes relativos de los materiales potencialmente reactivos y/o sustancias perjudiciales, y tamaño promedio de los minerales que conforman la roca. Qtz: cuarzo, Qtzm: cuarzo microcristalino, Kfs: feldespato alcalino, Mcs: material clástico silíceo, Ccd: calcedonia, Sc: sílice criptocristalina. PR: potencialmente reactivo, NR: no reactivo. *Ensayo convencional de prisma de hormigón (38°C).

Ubicación	Muestra	IRAM 1674 (1997)	Grado de reactividad IRAM 1531 (2022)	IRAM 1700 (2012) *	Grado de reactividad IRAM 1531 (2022)	Clas. ¹	Textura predominante	Reactividad debida a la presencia de:
Mesopotamia (Fm. Serra Geral)	YC	0,36	R2	-	-	PR	Intersertal	Vidrio volcánico (~4) + arcillas (~5)
	YF	0,29	R1	0,01	R0	PR	Intersertal	Vidrio volcánico (~2) + intercrecimiento de Qtz/Kfs + arcillas (~5)
	LM	0,27	R1	0,01	R0	PR	Intergranular a intersertal	Vidrio volcánico (~2) + cuarzo microcristalino en vesículas + arcillas (~3)
	LA	0,47	R3	0,07	R1	PR	Intergranular a intersertal	Vidrio volcánico (~2), + material clástico silíceo en vesículas + arcillas (~3)
	YR	0,50	R3	0,22	R2	PR	Intergranular a intersertal	Vidrio volcánico (~2) + material clástico silíceo, calcedonia y sílice criptocristalina + arcillas (~3)
Mendoza (Fm. El Puente)	PM	0,01	R0	-	-	NR	Porfírica con pasta pilotáxica	Arcillas (~4)
	LP	0,11	R1	-	-	PR	Porfírica con pasta microlítica	Vidrio volcánico (~1)
Neuquén (Basalto Zapala)	LR	0,04	R0	-	-	NR	Porfírica con pasta intergranular	-
	BS	0,05	R0	-	-	NR	Intergranular	-
Río Negro (Basalto Coli Toro)	CM	0,05	R0	-	-	NR	Porfírica con pasta intergranular	-
Río Negro (Fm. Somuncurá)	CS	0,30	R1	-	-	PR	Porfírica con pasta criptocristalina	Vidrio volcánico (~4)
	AG	0,04	R0	-	-	PR	Intersertal	Vidrio volcánico (~3) + arcillas (~4)
	TM	0,41	R2	-	-	PR	Intersertal	Vidrio volcánico (~5)
	PR	0,67	R3	-	-	PR	Porfírica con pasta microlítica / criptocristalina	Vidrio volcánico (~1) + arcillas (~1)
	PJ-1	0,09	R0	-	-	PR	Intersertal	Vidrio volcánico (~5)

¹Clasificación según petrografía.

Tabla 4. Valores de expansión en barras de mortero para las rocas ácidas. En amarillo (R1): moderadamente reactivo y en verde (R0): inocuo. Qtzm: cuarzo microcristalino.

Ubicación	Muestra	IRAM 1674 (1997)	Grado de reactividad IRAM 531 (2022)	Clas. ¹	Textura predominante	Reactividad debida a la presencia de:
Río Negro Fm. Marifil	SC	0,04	R0	PR	Porfírica con pasta microfelsítica	Vidrio volcánico parcialmente alterado + cuarzo microcristalino (~4)
	SG	0,13	R1	PR		Vidrio volcánico parcialmente alterado + cuarzo microcristalino (~4)
	DR	0,14	R1	PR		Vidrio volcánico fresco (<3)
Chubut Fm. Marifil	C60	0,12	R1	PR	Porfírica con pasta felsítica	Vidrio volcánico fresco (<3) + cuarzo microcristalino (~4)
	SCH	0,17	R1	PR		Cuarzo microcristalino (~5)
	VI	0,03	R0	NR		-

¹Clasificación según petrografía.

En estos ejemplares se vuelve a corroborar que el desarrollo de vesículas rellenas parcialmente con cuarzo microcristalino y la presencia de material clástico silíceo inciden en el comportamiento de estos basaltos, aumentando la reactividad.

La reactividad de las muestras mesopotámicas presenta registros de ensayo de prisma de hormigón a largo plazo. En el caso de los agregados LA e YR, calificados como extremadamente reactivos, clase R3 según la barra de mortero, disminuyen su reactividad a clase R1 y R2, respectivamente, en el ensayo a largo plazo. Por otro lado, los agregados de reactividad moderada clase R1 (YF y LM) según norma IRAM 1531 [6], arrojaron valores por debajo del límite establecido, clasificando a los agregados como inocuos, clase R0, en el ensayo de prisma de hormigón.

La representatividad del método acelerado de la barra de mortero es cuestionada por diversos autores [49-50] ya que el método es muy agresivo (alta alcalinidad y temperatura) lo que causa una rápida disolución del cuarzo microcristalino de la mesostasis, ocasionando

una rápida expansión inicial y una estabilización posterior, pudiendo sobreestimar los resultados y calificar ciertos agregados como potencialmente reactivos, siendo que su comportamiento en ensayos de larga duración es satisfactorio. Esto fue corroborado en el caso de los agregados de la región mesopotámica donde todas las muestras ensayadas disminuyeron su clase de reactividad medida en el ensayo según norma IRAM 1674 [8] respecto a las expansiones registradas en el método de prisma de hormigón convencional según norma IRAM 1700 [9]. A pesar de no contar con datos de ensayo de larga duración para el agregado YC, en función al comportamiento observado en los demás agregados de la región, se podría esperar que su reactividad se reduzca al menos a clase R1.

Esta variación en los resultados de ensayos de corto y largo plazo confirma la posibilidad de obtener resultados falso-negativos (agregados clasificados como inocuos por el ensayo y que presentaron efecto deletéreo en obra) y falso-positivos (agregados clasificados como reactivos por el ensayo y que desempeñaron buen comportamiento en campo) [51].

Existen antecedentes de obras en los que se han manifestado fenómenos deletéreos de diversa magnitud, donde se han utilizado agregados basálticos de la región mesopotámica como agregado grueso. Como ejemplo de ello puede citarse el pavimento urbano de la localidad de Curuzú Cuatiá, la pista de rodaje del aeropuerto en la misma localidad y el hormigón de la ruta nacional N°127 [52-55].

Las muestras pertenecientes a la Formación Somuncurá, a pesar de su arreglo textural intersertal (AG y PJ-1) no evidencian expansión en el método acelerado de la barra de mortero. Este comportamiento se condice por lo planteado por Tiecher et al. [56], quienes afirman que la cantidad de cuarzo en basaltos no es lo suficientemente significativa como para promover la RAS.

Los ejemplares estudiados donde se reconocieron texturas intergranulares (LR y BS, Neuquén) se condicen con un grado de reactividad R0 (inocuo). Esto demuestra que en este tipo de arreglos texturales los espacios entre cristales de mayor tamaño son ocupados por cristales de menor desarrollo, descartando la presencia de vidrio volcánico, incluso cuando existe variación en el tamaño de grano.

Los arreglos texturales de tipo porfíricos, representado por los basaltos de: Mendoza, Basalto Coli Toro y las muestras CS y PR de Rio Negro, presentan grados de reactividad variables, desde nulo (R0) a extremadamente reactivos (R3). El vidrio volcánico relicto y parcialmente alterado presente en la mesostasis de las muestras determina el comportamiento deletéreo frente a la RAS de dichos agregados, como puede evidenciarse en las muestras CS y PR. Por otro lado, queda demostrado, en el ejemplar PM, que la presencia de arcillas no necesariamente guarda relación directa con el grado de reactividad de la roca.

Respecto a las rocas ácidas estudiadas, las cuales pertenecen a la Formación Marifil, comparten arreglos texturales similares con

desarrollo de pasta microfelsítica y felsítica, y una relación pasta/fenocristales promedio de 85 %/15 % en volumen.

Se reconoció un único agregado (muestra VI) con pasta totalmente cristalina, siendo coincidente con valores obtenidos en el ensayo de la barra de mortero que no superan el límite establecido por norma (reactividad nula = R0). El agregado SC registra un comportamiento similar en el ensayo físico, a pesar de presentar cuarzo microcristalino en la pasta de la roca como material potencialmente reactivo; sin embargo, su contenido no sería suficientemente como para producir expansión, calificando al agregado como R0.

Los restantes agregados riolíticos (SG, DR, C60 y SCH) presentan valores de expansión similares, medidos en barra de mortero, clasificándose como moderadamente reactivos (clase R1), aunque cercanos al límite de expansión (0,10 %); permitiendo inferir que su comportamiento en ensayos a largo plazo (IRAM 1700 [9]) arrojaría resultados favorables que determinarían un comportamiento inocuo frente a la RAS.

En trabajos donde se analiza la influencia de la mesostasis o pasta en este tipo de rocas [55-56], se concluye que su comportamiento deletéreo se atribuye a la sílice disponible proveniente tanto del vidrio como de los microlitos de cuarzo inmersos en dicha mesostasis. Por lo tanto, el análisis petrográfico para estimar la cantidad de sílice disponible en función a la relación pasta/fenocristales en este tipo de rocas, es crítico para predecir su reactividad cuando son utilizadas en la elaboración de hormigón.

6. Conclusiones

Las rocas volcánicas básicas y ácidas estudiadas califican como potencialmente reactivas frente a la reacción álcali-sílice según el análisis petrográfico basado en la norma IRAM 1649, complementado con la norma

IRAM 1531, a excepción de los basaltos Zapala y Coli Toro (Neuquén) y la Riolita VI (Chubut).

La reactividad en las rocas basálticas varía significativamente según las texturas y grado de alteración y está directamente vinculada a la presencia de vidrio volcánico fresco o parcialmente desvitrificado, arcillas esmectíticas, intercrecimiento de cuarzo y feldespato alcalino, cuarzo microcristalino, sílice criptocristalina, calcedonia y material clástico silíceo.

Los basaltos con texturas intergranulares a intersetales registran los valores más altos de expansión en barras de mortero (R2-R3, IRAM 1674), mientras que los de menor tamaño de grano presentan menor expansión (R1).

La presencia de vesículas y/o fisuras rellenas con materiales silíceos aumenta la reactividad, siendo un factor determinante en el comportamiento del agregado.

Los arreglos texturales de tipo intergranulares y porfíricos con pasta intergranular, se caracterizan por presentar un entramado de cristales que no admiten vidrio volcánico y su reactividad es la esperada en el ensayo acelerado de la barra de mortero IRAM 1674, registrando un comportamiento inocuo.

Los agregados con textura porfírica presentan reactividad variable (R0-R3) según el ensayo acelerado de la barra de mortero, asociada a la heterogeneidad del tamaño cristalino.

Los agregados basálticos con textura intersetal presentan variabilidad en su reactividad (R0-R2), debido a la presencia de vidrio (fresco o alterado a otras faces) o vidrio y pequeños cristales, dando lugar a contenidos variables de materiales potencialmente reactivos. Esta reactividad no guarda relación con el tamaño de grano de la muestra.

Los agregados con texturas intersetales y de comportamiento inocuo, sugieren resultados falso-negativos en comparación con agregados de similar textura y composición.

En una misma muestra, la reactividad disminuye en prisma de hormigón en comparación con la expansión medida en barra de mortero, confirmando que el método según IRAM 1700 es más eficaz para predecir el comportamiento del agregado en el hormigón.

Las rocas volcánicas ácidas estudiadas exhiben texturas predominantes de tipo porfíricas, con pasta microfelsítica a felsítica y un grado de alteración variable. La reactividad en este tipo de rocas se atribuye a la sílice disponible proveniente tanto del vidrio volcánico (fresco o parcialmente desvitrificado) como de los microlitos de cuarzo presentes en la mesostasis de la roca.

La relación mesostasis/fenocristales no evidencia una relación directa con el grado de reactividad obtenidos en los ensayos físicos.

Las pastas totalmente cristalinas muestran un comportamiento inocuo (R0) según la norma IRAM 1674.

Las pastas microfelsíticas, derivadas de la desvitrificación parcial del vidrio volcánico, presentan resultados variables (R0 a R1) cercanos al límite inferior lo que sugiere un comportamiento favorable en ensayos a largo plazo (IRAM 1700) y una respuesta inocua frente a la RAS.

En los agregados en los que se identificó cuarzo microcristalino como material potencialmente reactivo, se registran expansiones por debajo del límite en función del ensayo acelerado de la barra de mortero. Este comportamiento permitiría inferir resultados falso-negativos, o que la identificación de materiales reactivos no siempre es condición suficiente para desencadenar la RAS.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, por el apoyo brindado.

Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue realizado en el marco de un trabajo final de Licenciatura en Ciencias Geológicas, para el cual el Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur ha contribuido económicamente para su desarrollo.

Contribución de autoría

P. Arias: investigación, redacción-original-borrador. L. Madsen: conceptualización, recursos, redacción-revisión-edición. F. Bianchi: redacción-revisión-edición.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

Referencias

- [1] Marfil, S., Batic, O., Maiza, P., Grecco, L., y Falcone, D. (2010). Comportamiento de rocas basálticas de las prov. de Corrientes y Entre Ríos frente a la reacción álcali-sílice. En *SUG* (Ed.), *6° Congreso Uruguayo de Geología*, (pp. 1–6). Sociedad Uruguaya de Geología.
- [2] Shayan, A., y Quick, G. W. (1988). An alkali-reactive basalt from Queensland, Australia. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 10(4), 209–214. <https://doi.org/btm29c>
- [3] Vila, P. E., Bonjour, H. L., Díaz, L. J., y Pereyra, M. N. (2023). Potencialidad reactiva de agregados para hormigón en Uruguay. Correlación entre la metodología de la barra de mortero y el prisma de hormigón (acelerada y tradicional). *Revista ALCONPAT*, 13(1), 45–60. <https://doi.org/phzh>
- [4] Batic, O. R., y Sota, J. D. (2001). Reacciones deletéreas internas. En F. Irassar (Ed.), *Durabilidad del Hormigón Estructural* (pp. 157–216). AATH.
- [5] Madsen, L. (2018). *Influencia de la mineralogía, textura y grado de alteración de rocas volcánicas en su comportamiento como agregado en hormigón* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4544>
- [6] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2022). *IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo*.
- [7] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2008). *IRAM 1649 Agregados para hormigones. Examen petrográfico*.
- [8] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1997). *IRAM 1674. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero*.
- [9] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2013). *IRAM 1700 Agregados Métodos para la determinación del cambio de largo en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado*.
- [10] Avid, F. A., Paez, G., Cosentino, J., y Sota, J. D. (2014). La durabilidad de los basaltos de la Mesopotamia en los hormigones de cemento portland. En CPPBA (Ed.), *2° Congreso Argentino de Áridos, Buenos Aires*, (pp. 1–11). Cámara de la Piedra de la Provincia de Buenos Aires.
- [11] Maiza, P. J., Marfil, S. A., Batic, O. R., y Sota, J. D. (1995). Estudio comparativo de rocas basálticas frente a la RAS. En AATH (Ed.), *12° Reunión Técnica AATH "Dra. Haydée V. Armándola"* (pp. 127–140). AATH.
- [12] Marfil, S. A., Locati, F., Maiza, P. J., y Lescano, L. (2013). Basaltic rocks from Argentina used in concrete structures. En F. Wu, y A. Qi (Eds.), *Global View of Engineering Geology and the Environment* (pp. 253–258). Taylor & Francis Group.
- [13] Rocco, C. G., Madsen, L., Locati, F., Tobes, J. M., Fava, C., Marfil, S., y Maiza, P. (2016). Estudio de prismas de hormigón elaborados con basaltos de la Mesopotamia argentina. En E. F. Irassar, V. F. Rahhal, y L. P. Traversa

- (Eds.), *VII Congreso Internacional 21° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón "Ing. Nélide del Valle Castría"* (pp. 1–8). AATH.
- [14] Batic, O., Sota, J., y Maiza, P. (1992). Montmorillonite included in some aggregates, a principal factor of AAR. En A. B. Poole (Ed.), *9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Volume 1* (pp. 53–60). Concrete Society Publication.
- [15] Batic, O. R., y Milanesi C. A. (1995). Consideraciones sobre el método de expansión de prismas de hormigón al estudio de la reactividad alcalina. En AATH (Ed.), *XII Reunión Técnica AATH Dra. Haydée V. Armándola* (pp. 149–162). AATH.
- [16] Marfil, S. A., y Maiza, P. J. (1996). Características petrográfico-mineralógicas de la alteración de basaltos de la Meseta de Somún Curá, Prov. de Río Negro. En 3° *Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Publicación N° 5* (pp. 287–293). INREMI.
- [17] Marfil, S. A., Maiza, P. J., Bengochea, A. L., Sota, J. D., y Batic, O. R. (1998). Relationship between SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks. *Cement and Concrete Research*, 28(2), 189–196. <https://doi.org/bjvntf>
- [18] Batic, O., Maiza, P., y Sota, J. (1994). Alkali silica reaction in basaltic rocks. NBRI method. *Cement and Concrete Research*, 24(7), 1317–1326. <https://doi.org/cwqfch>
- [19] Maiza, P. J., y Marfil, S. A. (1998). Comportamiento de rocas basálticas en hormigón, frente a la reacción álcali-silice. En SUG (Ed.), *2° Congreso Uruguayo de Geología* (pp. 134–137). Sociedad Uruguaya de Geología.
- [20] Maiza, P. J., Marfil, S. A., Bengochea, A. L., Batic, O. R., y Sota, J. D. (1998). Aplicación de un modelo estadístico para evaluar la reactividad alcalina potencial en rocas basálticas. En *5° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses* (pp. 135–143). Universidad Nacional de Mar del Plata y Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.
- [21] Maiza, P. J., Batic, O. R., Grecco, L. E., Marfil, S. A., y Sota, J. D. (2006). Rocas volcánicas de la Patagonia - Su comportamiento frente a la RAS. En J. Sota (Ed.), *XVI Reunión Técnica "Prof Agrim Antonino Bonforte"* (pp. 233–240). AATH.
- [22] Tiecher, F., Gomes, M. B., y Dal Molin, D. C. C. (2018). Alkali-aggregate reaction: A study of the influence of the petrographic characteristics of volcanic rocks. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8(1), 2399–2404. <https://doi.org/phzn>
- [23] Maiza, P., y Marfil, S. (2003). Rocas riolíticas en agregados para concreto. Su factibilidad de uso basada en la petrografía. En E. S. Campos (Ed.), *10° Congreso Geológico Chileno* (pp. 1–7). Universidad de Concepción.
- [24] Maiza, P., Batic, O. R., Marfil, S. A., y Sota, J. D. (2003). Reactividad alcalina potencial de rocas riolíticas como agregados para hormigón. En AATH (Ed.), *XV Reunión Técnica de la AATH "Ing. Marcelo Wainstein"* (pp. 1–15). AATH.
- [25] Malvicini, L., y Llambías, E. J. (1974). Geología y génesis del depósito de manganeso Arroyo Verde, provincia de Chubut, República Argentina. En AGA (Ed.), *Actas del V Congreso Geológico Argentino, Actas 2* (pp. 185–202). AGA.
- [26] Cortés, J. M. (1981). El sustrato precretácico del extremo nordeste de la provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36(3), 217–235.
- [27] Giacosa, R. (1993). El ciclo eruptivo Gondwánico en el área de Sierra Pailemán, Macizo Nordpatagónico, Argentina. En AGA (Ed.), *Actas del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 4 (pp. 113–119). AGA.
- [28] Wildner, W., Hartmann, L. A., y Lopes, R. C. (2007). Serra Geral magmatism in the Paraná Basin, a new stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures. En R. Iannuzzi, D. R. Boardman (Eds.), *Workshop Problems in the Western Gondwana Geology* (pp. 189–197). UFRGS.
- [29] Chebli, G. A., Mozetic, M. E., Rossello, E. A., y Bühler, M. (1999). Cuencas sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. En R. Caminos (Ed.), *Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29* (pp. 627–644). SEGEMAR.

- [30] Pezzi, E. E., y Mozetic, M. E. (1989). Cuencas sedimentarias de la Región Chacoparanense. En G. A. Chebli, y L. A. Spalletti (Eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica, 6* (pp. 65–78). Instituto Superior de Correlación, Universidad Nacional de Tucumán.
- [31] Cucchi, R., Busteros, A., y Lema, H. (1999). *Hoja Geológica 4169-II, Los Menucos, Provincia de Río Negro* (Boletín 265). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino.
- [32] Bellido Mulas, F. (1998). *Informe preliminar de la campaña Los Menucos-Sierra Colorada*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino.
- [33] Ardolino, A. A., y Franchi, M. (1993). El vulcanismo cenozoico de la meseta de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut. En AGA (Ed.), *Actas del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 4* (pp. 225–235). AGA.
- [34] Maro, G., y Remesal, M. B. (2012). El vulcanismo bimodal del volcán Cerro Corona, alta tierra de Somún Curá, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(1), 142–151.
- [35] Ardolino, A. A. (1981). El vulcanismo cenozoico del borde suroriental de la meseta de Somuncurá. En AGA (Ed.), *Actos del XVIII Congreso Geológico Argentino, 3* (pp. 7–23). AGA.
- [36] Remesal, M., Salani, F., Franchi, M., Ardolino, A. A., Dalponte, M. R., Espejo, P. M., y Lizuaín, A. (2001). *Hoja Geológica 4169 IV Maquinchao* (Boletín 312). Instituto de Geología y Recursos Mineros, Servicio Geológico Argentino, Buenos Aires.
- [37] Linares, E., y González, R. R. (1990). *Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina - 1957-1987*. Serie "B" (Didáctica y Complementaria), 19, Asociación Geológica Argentina.
- [38] Bermúdez, A., y Delpino, D. (1989). La Provincia Basáltica Andino Cuyana (35–37°L.S.). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 44(1-4), 35–55.
- [39] Bermúdez, A., Delpino, D., Frey, F., y Saal, A. (1993). Los basaltos de retroarco extraandinos. En V. A. Ramos (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Mendoza. XII Congreso Geológico Argentino* (pp. 173–195). AGA.
- [40] González Díaz, E. F. (1979). *Descripción geológica de la Hoja 31d, La Matancilla, provincia de Mendoza* (Boletín 173). Servicio Geológico Nacional.
- [41] Narciso, V., Santamaría, G. R., Zanettini, J. C. M., y Leanza, H. A. (2004). *Hoja Geológica 3769-I Barrancas* (Boletín 253). Instituto de Geología y Recursos Mineros, Servicio Geológico Argentino.
- [42] May, V. R., Chivas, A. R., Dosseto, A., Honda, M., Matchan, E. L., Phillips, D., y Price, D. M. (2018). Quaternary volcanic evolution in the continental back-arc of southern Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 88–103. <https://doi.org/gdsfh2>
- [43] Streckeisen, A. (1978). Classification and nomenclature of volcanic rocks lamprophytes, carbonatites and melilitic rocks. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, 141: 1–14.
- [44] Le Maitre, R. W. (Ed.) (2002). *Igneous rocks. A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- [45] Siivola, J., y Schmid, R. (2007). Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: List of mineral abbreviations. Web version 01.02.07. ([https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/658_19_MemExPI_329_Cano_Ovejas/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Siivola%20y%20Schmid%20\(2007\).%20Abreviaciones%20mineral%20C3%B3gicas.pdf](https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/658_19_MemExPI_329_Cano_Ovejas/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Siivola%20y%20Schmid%20(2007).%20Abreviaciones%20mineral%20C3%B3gicas.pdf)). IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks (SCMR).
- [46] Ingersoll, R. V., Bulard, T. F., Ford, R. L., Grimn, J. P., Pickle, J. P., y Sares, S. W. (1984). The effect of grain size on detrital modes: a text of the Gazzi-Dickinson Point Counting method. *Journal of Sedimentary*

- Petrology*, 54(1), 103–116.
<https://doi.org/dgdfww>
- [47] Marfil, S. A., y Maiza, P. J. (2006). Assessment of the potential alkali reactivity of rhyolitic rocks from Argentina. In Proc. 10th IAEG Int. Congress.
- [48] Marfil, S. A., Maiza, P. y Salomon, R. C. (2005). Correlación entre la expansión entre las barras de mortero, sílice disuelta y el contenido de montmorillonita en basaltos. In Congreso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- [49] Falcone, D., y Milanesi, C. A. (2016). Aplicación del método acelerado de la barra de mortero en el estudio de combinación de agregados. En F. Irassar (Ed.), *7º Congreso Internacional y 21ª Reunión Técnica de la AATH* (pp. 397–404). AATH.
- [50] Berezovsky, J. J., Falcone, D., Locati, F., y Marfil, S. A. (2023). Comparación de los resultados de diferentes métodos de ensayo para evaluar la potencial reactividad de arenas del sur de la provincia de Buenos Aires frente a la reacción álcali-sílice. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 50, e013. <https://doi.org/ph4m>
- [51] Thomas, M. D. A., Fournier, B. y Folliard, K. J. (2008). Report on determining the reactivity of concrete aggregates and selecting appropriate measures for preventing deleterious expansion in new concrete construction. *Concrete International*, 30 (5): 24-30.
<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/asr/hif09001/hif09001.pdf>
- [52] Maiza, P., Marfil, S., Rocco, C., Fava, C., y Tobes, J. (2010). Pavimentos de hormigón elaborados con agregados basálticos y afectados por la reacción álcali sílice (RAS). Casos de estudio. En AATH (Ed.), *Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010, XII Congreso Iberoamericano del Hormigón Premezclado, IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón y XVIII Reunión Técnica de la AATH* (pp. 1–12). AATH.
- [53] Madsen, L., Marfil, S., y Maiza, P. (2018). Geoquímica y petrografía de los basaltos de la Formación Serra Geral de las provincias de Corrientes y Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(4), 559–571.
- [54] Milanesi, C., Giaccio, G., Falcone, D., Giovambattista, A. y Zerbino, R. (2021). Una visión actualizada sobre la reacción álcali-sílice en Argentina y el diseño y construcción de estructuras de hormigón. *Revista Hormigón*, 60, 16–35.
- [55] Milanesi, C. A. (2008). Experiencias sobre la caracterización de algunos basaltos de la provincia de Corrientes (Argentina) frente a la reacción álcali-sílice (RAS). En V. Rahhal, y J. Sota (Eds.), *XVII Reunión Técnica de la AATH Ing. José Fermín Colina* (pp. 345–352). AATH.
- [56] Tiecher, F., Dal Molin, D. C., Gomes, M. E., Hasparyk, N. P., y Monteiro, P. J. (2012). Influence of mesostasis in volcanic rocks on the alkali-aggregate reaction. *Cement and Concrete Composites*, 34(10), 1130–1140.
<https://doi.org/ph4q>