



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente • N.º 51 • 2024 • ISSN 2422-5703 • <https://www.editoriasagai.org.ar/>
Bournod C.N., Berezosky J.J., Falcone D.D., Marfil S.A., Madsen L., Locati F., Zega C.J. y Maiza P.J.
Reactividad alcalina potencial de cantos rodados provenientes del sur de la provincia de Buenos Aires
e017, <https://doi.org/10.59069/24225703e017>

Reactividad alcalina potencial de cantos rodados provenientes del sur de la provincia de Buenos Aires

Potential alkaline reactivity of gravels from the south of the province of Buenos Aires

Constanza Naimé Bournod^{1*}

Juan José Berezosky²

Darío Daniel Falcone³

Silvina Andrea Marfil^{1*}

Lenís Madsen¹

Francisco Locati⁴

Claudio Javier Zega⁵

Pedro José Maiza¹

*Contacto

Recibido: 3 de enero de 2024 • Aceptado: 3 de mayo de 2024 • Publicado: 10 de mayo de 2024

Resumen

Se evaluó la potencial reactividad frente a la reacción álcali-sílice de cantos rodados provenientes de una cantera ubicada en proximidades a la localidad de Villalonga, partido de Patagones (provincia de Buenos Aires). Se realizó el análisis petrográfico según la norma IRAM 1649, el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y el método del prisma de hormigón convencional y acelerado (IRAM 1700) de acuerdo con los requisitos establecidos para los agregados gruesos para hormigón (IRAM 1531). Se identificaron vidrio volcánico parcialmente alterado, variedades de sílice criptocristalina y, en menor proporción, cuarzo microcristalino, como componentes potencialmente reactivos. La expansión medida en las barras de mortero y en los prismas de hormigón superó el límite máximo establecido por norma, calificando al agregado como moderadamente reactivo (R1) (IRAM 1531). Por último, se observó un efecto *pessimum* al reemplazar 40% del canto rodado por una arena no reactiva, registrándose 0,36% de expansión en el ensayo acelerado de la barra de mortero a 16 días de ensayo.

Palabras clave: gravas, reacción álcali-sílice, ensayos normalizados, agregados volcánicos.

Abstract

The potential reactivity against the alkali-silica reaction of gravels from a quarry located near Villalonga town, Patagones district (province of Buenos Aires) was evaluated. The petrographic analysis was carried out according to IRAM 1649 standard test method. Also the accelerated mortar bar test (IRAM 1674), and the conventional and accelerated concrete prism test method (IRAM 1700) were used, in accordance with the requirements for concrete coarse aggregates established in IRAM 1531 standard. Partially altered

1 Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur - Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente.

2 Dirección Nacional de Vialidad, Distrito 19.

3 Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires - Universidad Nacional de La Plata.

4 Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba - Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Córdoba.

5 Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

volcanic glass, varieties of cryptocrystalline silica and, minor microcrystalline quartz, were identified as potentially reactive components. The expansion measured in mortar bars and concrete prisms exceeded the maximum limit established in the standards, qualifying the aggregate as moderately reactive (R1) (IRAM 1531). Finally, a *pessimum* effect was observed when replacing 40% of the gravel with a non-reactive sand, registering 0.36% expansion in the accelerated mortar bar test after 16 days of testing.

Keywords: gravel, alkali-silica reaction, standard test methods, volcanic aggregates.

INTRODUCCIÓN

Las rocas que se utilizan como agregados para hormigón que contienen componentes con sílice metaestable, pueden desarrollar, en presencia de humedad relativa elevada y alta concentración de álcalis (provenientes esencialmente de la solución de poro del hormigón), reacciones deletéreas expansivas, con el consecuente deterioro de las estructuras. Este fenómeno denominado reacción álcali-sílice (RAS) se conoce desde la década de 1940 y sigue siendo un tema de debate y estudio en todo el mundo (por ej. Sims y Poole, 2017, y bibliografía allí citada). Esta reacción puede desarrollarse poco tiempo después de finalizada la obra o luego de muchos años, dependiendo de los componentes reactivos involucrados. Las variedades de sílice criptocrystalina o amorfa (tridimita, cristobalita, ópalo) y el vidrio volcánico, son de reacción rápida, mientras que el cuarzo microcristalino, fuertemente tensionado y/o fracturado presente en rocas metamórficas, son de reacción lenta.

El canto rodado constituye un material ampliamente utilizado como agregado para hormigón en el sur de la provincia de Buenos Aires y en la región patagónica. Estos materiales originariamente se asocian a depósitos de origen fluvial, aunque en la zona costera han experimentado el retrabajo y redepósito por acción marina. Los depósitos de áreas costeras suelen formar cordones con niveles de conchillas o fragmentos de valvas calcáreas marinas mezcladas con los rodados (Nicolás et al., 1986; Maiza y Marfil, 1997). Por lo tanto, los depósitos de grava pueden mostrar variaciones (composicionales, granulométricas, etc.) relacionadas con su origen y, la calidad del material, dependiendo de los puntos de extracción y de los procesos que los han afectado. Muchas canteras obtienen de estos yacimientos canto rodado y arena para uso como agregado grueso y fino respectivamente.

Existen numerosos trabajos vinculados con el estudio de la potencial reactividad frente a la RAS de las arenas utilizadas como agregado para hormigón en el sur de la provincia de Buenos Aires (Batic et al., 1974; Maiza et al., 1988; Marfil, 1989; Marfil y Maiza, 1989; Maiza y Marfil, 1997; Berezosky et al., 2015, 2016, 2017, entre otros). Sin embargo, los estudios sobre los cantos rodados de esta región son muy escasos (Marfil y Maiza, 1993; Maiza y Marfil, 1997). En los mencionados trabajos, se realizaron estudios petrográficos y se determinó la potencial reactividad de los agregados mediante el ensayo de la barra de mortero (IRAM 1637, 1966), actualmente en desuso. Los autores identificaron un alto

contenido de partículas de rocas volcánicas (55%) con vidrio en la mesostasis, y cantidades subordinadas de partículas de cuarcitas, rocas sedimentarias, rocas graníticas y valvas carbonáticas.

Por otra parte, Maiza et al. (2008) evaluaron la potencial reactividad de los agregados gruesos utilizados un poco más al sur, en cercanías a Viedma (provincia de Río Negro), provenientes de siete canteras del sector comprendido entre San Javier y Bahía Creek. Según el ensayo petrográfico (IRAM 1649, 2008) dichos materiales se componen de rocas volcánicas (65%-80%), con predominio de riolitas sobre andesitas, cantidades subordinadas de tobas líticas (10%-25%), y en menor proporción rocas graníticas, cuarzo, areniscas y valvas carbonáticas. La mayoría de las vulcanitas contienen vidrio volcánico fresco y/o parcialmente alterado. Además, en la superficie de las partículas identificaron pátinas de sílice criptocrystalina y, en ocasiones, crustificaciones carbonáticas. Las expansiones medidas según el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997) a los 16 días dieron valores entre 0,377% y 0,575%, muy superiores al límite máximo establecido por la norma (0,1%), calificando a los agregados como potencialmente reactivos.

La norma IRAM 1531 (2022) establece los requisitos y métodos de ensayo necesarios para evaluar al agregado grueso para hormigón, entre los cuales se especifican los correspondientes a la RAS. Al respecto, si no se cuenta con antecedentes de obras en servicio, la reactividad alcalina potencial del agregado debe ser evaluada siguiendo un diagrama de flujo que contempla, en primera instancia, un examen petrográfico (IRAM 1649, 2008), el cual permite identificar a los componentes potencialmente reactivos y definir los límites de expansión que aplican en cada caso. Luego corresponde hacer 1) el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997), 2) el ensayo acelerado del prisma de hormigón (IRAM 1700, 2013, a 60 °C) o 3) el método convencional del prisma de hormigón (IRAM 1700, 2013, a 38 °C), dependiendo si el componente identificado es de reacción rápida o lenta. La norma IRAM 1531 (2022) indica además que, en caso de que el agregado grueso resulte potencialmente reactivo por los métodos acelerados, debe ser verificado por el método convencional del prisma de hormigón. Finalmente, si el agregado resulta potencialmente reactivo solo puede utilizarse si se toma alguna de las medidas preventivas (prestacionales o prescriptivas) indicadas en la citada norma.

Cuando el agregado reactivo tiene componentes de reacción rápida es importante conocer el comportamien-



Figura 1. Ubicación de la cantera que explota el agregado estudiado.

to *pessimum*. La norma IRAM 1531 (2022) lo define como el fenómeno que se presenta cuando la magnitud de la expansión del mortero u hormigón elaborado a partir de un agregado potencialmente reactivo, no es directamente proporcional al contenido del componente reactivo que lo constituye. La proporción óptima para la máxima expansión varía con el tipo de agregado reactivo que se usa (Falcone, 2013). En este sentido, el máximo nivel de expansión se presenta para un determinado porcentaje del componente reactivo denominado "*pessimum*", si el porcentaje es mayor o menor, la magnitud de la expansión desarrollada es menor.

El propósito del presente trabajo es evaluar la potencial reactividad del canto rodado proveniente de una cantera ubicada en proximidades de la localidad de Villalonga, en la región sur de la provincia de Buenos Aires. Para ello se siguieron los lineamientos de la norma IRAM 1531 (2022) para agregado grueso para hormigón de cemento, utilizando el ensayo petrográfico (IRAM 1649, 2008), el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997) y el prisma

de hormigón (convencional y acelerado) (IRAM 1700, 2013). Además, con el fin de determinar si el agregado estudiado puede manifestar un efecto *pessimum*, se realizó el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997), reemplazando parte del agregado en estudio (entre 15% y 85%) por una arena de conocido comportamiento inocuo.

MATERIALES

Se estudió la fracción 6 mm - 20 mm proveniente del acopio de una cantera ubicada a 25 Km al este de la localidad de Villalonga (partido de Patagones), en el sur de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). El material es de uso frecuente en la región y en la cantera se extrae canto rodado y arena.

MÉTODOS

En el presente trabajo se realizó un estudio petrográfico siguiendo el procedimiento de la norma IRAM 1649 (2008),

para analizar la composición del agregado e identificar los componentes potencialmente reactivos frente a la RAS. El material se tamizó en seco utilizando un juego de tamices de 1" = 25,4 mm; ¾" = 19,1 mm; ½" = 12,5 mm; ¼" = 9,5 mm, y 4,75 mm. Sobre cada fracción granulométrica retenida se contaron 500 partículas, clasificándolas según la litología y grado de alteración o estado físico de la roca. De forma complementaria se llevó un registro de las morfologías de las partículas (irregulares planares, equidimensionales y redondeadas). Para este estudio se utilizó una lupa binocular Leica S9i y un microscopio óptico Leica DM750P para la descripción de secciones delgadas representativas de cada grupo de rocas. Los cortes delgados fueron realizados en el laboratorio de Petrotomía de la UNS.

Se realizaron además los tres ensayos físicos mencionados en la norma IRAM 1531 (2022) a fin de comparar los resultados. El método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997) consiste en elaborar barras de mortero de 25 mm x 25 mm x 300 mm, lo cual implica reducir el tamaño del canto rodado por trituración a una granulometría específica con tamaño menor a 4,75 mm. Se evaluó el cambio de longitud de las barras al ser expuestas a una temperatura de 80 °C en una solución 1N de NaOH durante 14 días, midiendo periódicamente la expansión. El límite de expansión para considerar un agregado potencialmente reactivo según este ensayo es 0,10% a los 16 días. Por su parte, el ensayo del prisma de hormigón, acelerado y convencional (IRAM 1700, 2013), consiste en elaborar prismas de hormigón de 75 mm x 75 mm x 300 mm, utilizando como agregado grueso el material de estudio con la granulometría indicada en la normativa, se eleva el contenido de álcalis del cemento a 1,25% mediante la adición de NaOH en el agua de mezclado, lo que equivale a tener en la mezcla 5,25 Kg/m³ de álcalis. El contenido de cemento es de 420 Kg/m³ y la proporción agregado grueso/fino es de 60/40. Para garantizar que la expansión se debe a la potencial reactividad del agregado grueso, el agregado fino a emplear debe tener un comportamiento inocuo. Los prismas se envuelven con una tela de algodón, se les coloca

un film de nylon alrededor, y se mantienen dentro de una bolsa de nylon con 5 ml de agua. Todo este conjunto se almacena en un contenedor hermético que solo contiene agua en el fondo del mismo para garantizar la humedad. El período de almacenamiento es de 13 semanas a 60 °C o 52 semanas a 38 °C, según se trate del ensayo acelerado o convencional, respectivamente. De acuerdo a la petrografía del agregado en estudio (componentes de reacción rápida) si la expansión medida supera el 0,04% a la edad de ensayo se considera al agregado como potencialmente reactivo para ambos métodos. Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del LEMIT (La Plata).

RESULTADOS

Examen petrográfico (IRAM 1649, 2008)

En los tamices de mayor tamaño de malla (25,4 mm y 19,1 mm) las partículas retenidas fueron escasas, por lo que no se llegaron a registrar las 500 partículas estipuladas en la norma. La distribución granulométrica y forma de las partículas se presentan en la Figura 2. Se observa que la mayor proporción (% en peso) se concentra en el tamiz de 12,5 mm. Las partículas son, en su mayoría, subredondeadas a subangulosas (67%), con un 26% de formas planares y escasas (7%) redondeadas (esféricas).

Las partículas del agregado están compuestas por rocas duras y compactas, levemente alteradas, sin modificar el comportamiento físico de las mismas. No presentan crustificaciones superficiales ni recubrimientos. Desde el punto de vista litológico, fueron agrupadas según sus características macroscópicas en: rocas volcánicas ácidas (R.V. ácidas) que incluyen riolitas, riocacitas, dacitas, etc.; rocas volcánicas intermedias a básicas (R.V. intermedias-básicas) que comprenden andesitas, basaltos, latitas, traquitas, etc.; rocas tobáceas que pueden ser volcánicas en general; rocas graníticas que corresponden a granitoides (granitos, sienitas, granodioritas, etc.); cuarzo refiere a partículas monomine-

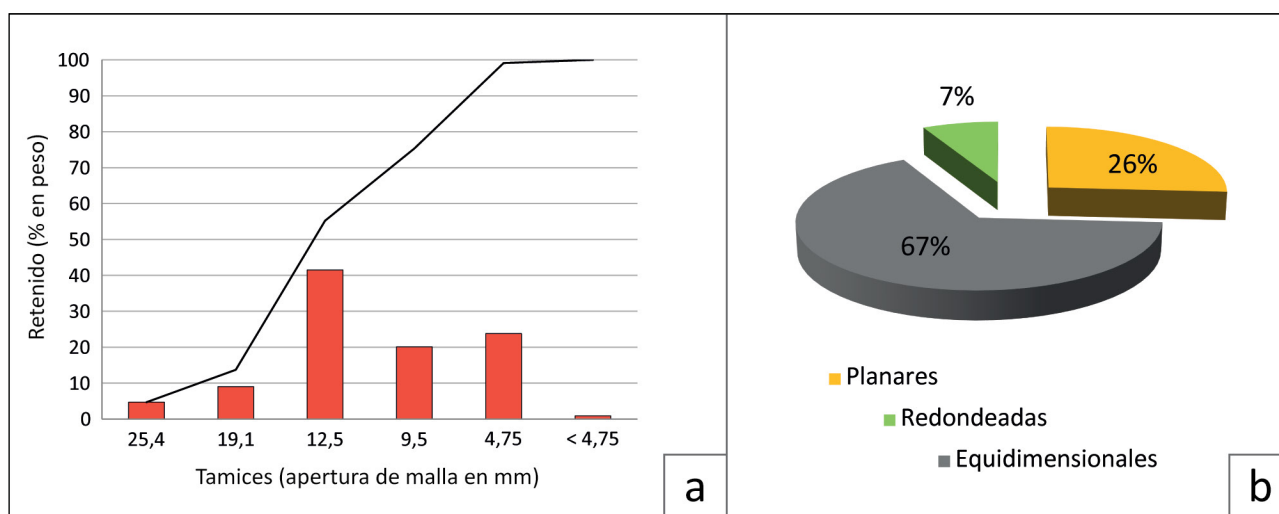


Figura 2. a) Distribución del tamaño de partículas en el agregado, según el porcentaje en peso retenido en cada tamiz (línea negra: curva de frecuencia acumulada). b) Forma de las partículas.

rales de cuarzo y conchillas a fragmentos de valvas. Su descripción petrográfica, sintetizada a continuación, se basa en la observación microscópica de las secciones delgadas realizadas sobre muestras representativas de cada grupo. En la Figura 3 se muestran las texturas de algunas de las litologías principales, con luz paralela (izquierda) y nicoles cruzados (centro), y en detalle los constituyentes potencialmente reactivos con mayor magnificación (400x-200x) y nicoles cruzados (derecha).

Las vulcanitas ácidas comprenden rocas de composición entre dacitas y riolitas, constituidas por fenocristales

de feldespatos (ortosa, sanidina, plagioclasa) y cuarzo, con cantidades variables de minerales máficos, principalmente biotita y hornblenda. En general presentan texturas porfíricas, con pastas en su mayoría vítreas, con fluidalidad, donde el vidrio volcánico puede estar parcial o totalmente desvitrificado, dando lugar a texturas felsíticas con esferulitas y sectores microcristalinos. En la Figura 3 a-b se muestra una dacita, con fenocristales de feldespato, principalmente de plagioclasa, maclados y zonados, distribuidos (con frecuencia aglomerados) en una pasta compuesta por tablillas y microlitos de plagioclasa suborientadas, donde se desarrollan texturas felsíticas asociadas con vesículas y venillas de sílice

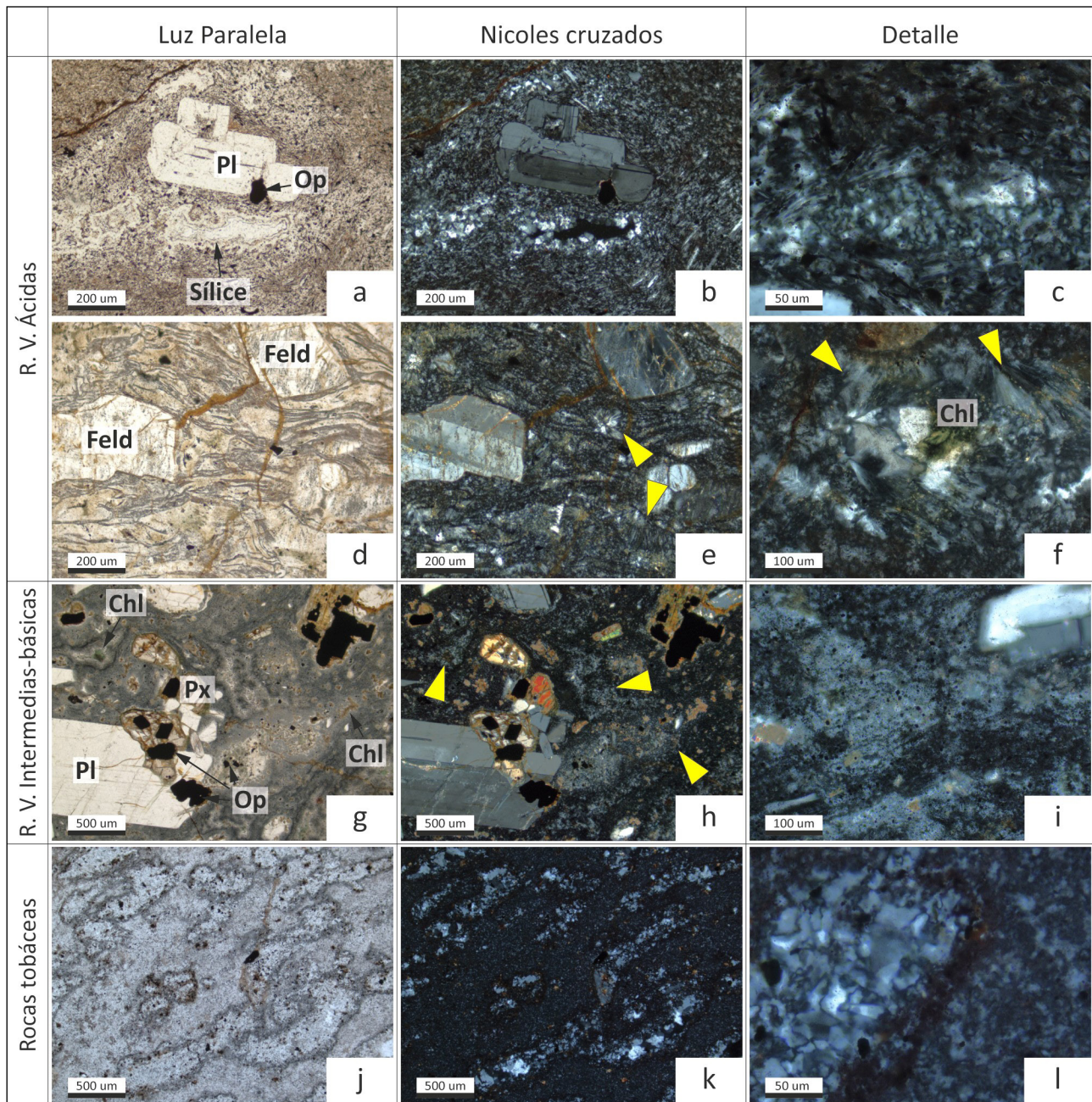


Figura 3. Fotomicrografías de las principales rocas identificadas mostrando diferentes texturas y componentes potencialmente reactivos (izquierda: luz paralela, centro: nicoles cruzados y derecha: detalle de la pasta/matriz a nicoles cruzados): a-c) dacita, d-f) ignimbrita riolítica, g-i) andesita, j-l) toba. Referencias: Pl: plagioclasa, Op: minerales opacos, Feld: feldespatos, Px: piroxenos, Chl: cloritas.

recristalizada de tamaño microcristalino (Figura 3 c). Se incluyen dentro de este grupo rocas genéticamente distintas pero textural y composicionalmente semejantes, como las ignimbritas de alto grado de soldamiento o reoignimbritas (Figura 3 d-e), debido a su similitud con las lavas riolíticas. En éstas, también se observa vidrio volcánico alterado y sílice cripto-microcristalina (compatible con tridimita-cristobalita y calcedonia) como componentes potencialmente reactivos. En las fotomicrografías se pueden distinguir fragmentos de cristales (cristaloclastos) de feldespatos y de cuarzo, y vidrio volcánico (vitroclastos aplastados y deformados). El vidrio está desvitrificado dando texturas felsíticas y esferulíticas (señaladas por flechas en Figura 3 e), compuestas por sílice criptocristalina y feldespato, asociadas a minerales arcillosos y cloritas (Figura 3 f, las flechas señalan texturas fibrosas típicas de la calcedonia).

Las rocas volcánicas intermedias a básicas presentan diferentes texturas, en general porfíricas con pastas afaníticas. Las texturas observadas en estas rocas son pilotácicas y hialofíticas a hialopilíticas (parcialmente desvitrificadas). Por lo general, se observa el vidrio alterado generando cloritas y minerales arcillosos, acompañando la presencia de sílice de baja cristalinidad y microcristalina con texturas felsíticas a microgranulares, constituyendo componentes potencialmente reactivos. La Figura 3 g-h muestra una roca andesítica que presenta cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa, zonados y maclados, formando una textura glomero-porfírica asociada a piroxenos, y minerales opacos de hábito cristalino, con cierto grado de alteración tanto en el feldespato (sericita) como en los máficos (clorita y óxidos/hidróxidos de hierro). La fluidalidad de la pasta se evidencia en la variación textural (Figura 3 h, señalada por flechas), transicional de felsítica a microgranular. Entre los productos de desvitrificación, se observa la formación de cloritas anhedrales y diseminadas en la pasta y siguiendo el flujo (Figura 3 i).

Las rocas tobáceas corresponden a un conjunto que presenta fragmentos de otras rocas (litoclastos) y compo-

nentes volcánicos (cristaloclastos y/o vitroclastos), sin considerar el proceso de formación del depósito, a los efectos prácticos, que puede ser de origen piroclástico o volcano-sedimentario en sentido más amplio. Mayoritariamente, presentan una matriz muy fina de color pardo, gris o rojizo. Los vitroclastos (como trizas, pómez o fiammes) pueden ser visibles o no, según su tamaño y, en general, se encuentran parcial a totalmente desvitrificados, dando lugar a arcillas y zeolitas, y sílice micro a criptocristalina. La Figura 3 j-l corresponde a una toba de grano muy fino, con parches de mayor tamaño, constituida mayormente por texturas tipo felsítica a microgranular, con minerales de baja birrefringencia (zeolitas/arcillas) producto de la desvitrificación. Además, tiene alta proporción de minerales opacos de grano muy fino, y también de dimensiones mayores en vesículas, donde cristalizaron como óxidos/hidróxidos de hierro, asociados a minerales secundarios.

Las rocas graníticas presentes en la muestra corresponden a un granito de textura granular alotriomórfica compuesto por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita cloritizada, con alteración sericítica, leve a moderada, de los feldespatos. También se identifica fragmentos de valvas calcáreas (conchillas), de tamaño inferior al centímetro. Por último, se reconocen partículas compuestas únicamente por cuarzo, con buen desarrollo cristalino y bajo ángulo de extinción ondulante (AEO promedio 11°).

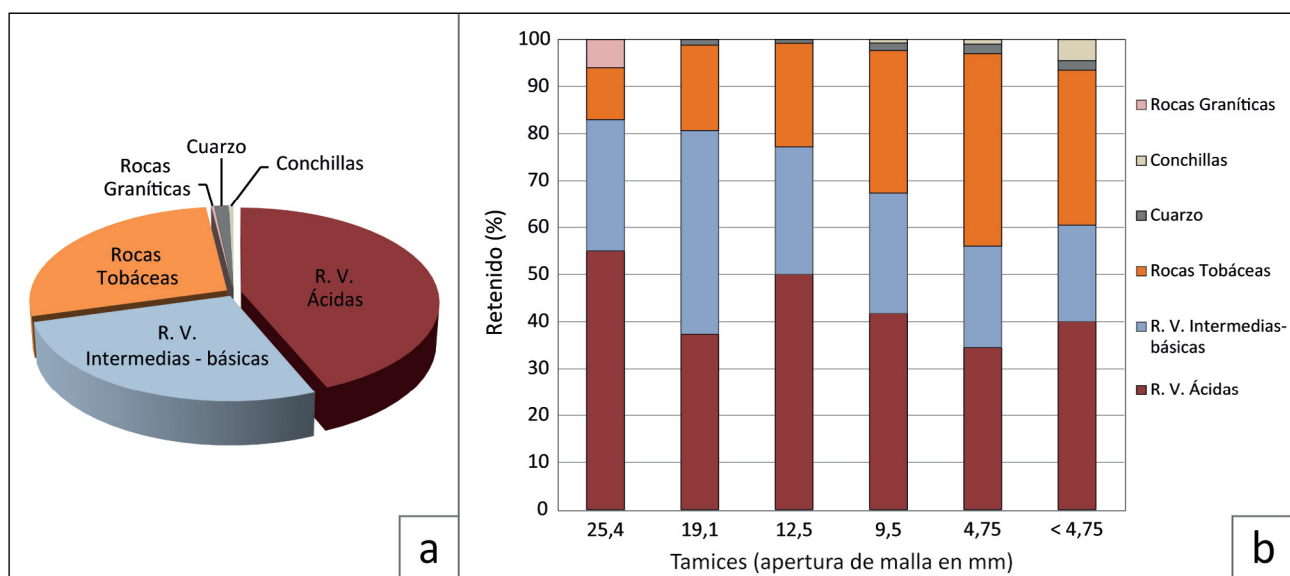
En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos del conteo de cada grupo y su ponderación en la muestra total. La Figura 4 muestra gráficamente la composición del agregado. De su análisis se desprende que el material estudiado está constituido en más del 95% por rocas con componentes volcánicos. Las rocas volcánicas ácidas e intermedias a básicas representan el 70% de la muestra analizada, siendo mucho más abundantes las primeras (43,7%), mientras que el porcentaje restante corresponde a rocas tobáceas. Las rocas graníticas son muy escasas, se hallaron únicamente en el tamiz de mayor abertura. Las conchillas se observaron a

Tabla 1. Cuantificación de constituyentes por fracción (equivalente a la Tabla A.1 de IRAM 1649, 2008). Referencias: N: número de partículas, R.V.: rocas volcánicas.

Constituyentes	Composición de las fracciones retenidas en los tamices											
	25,4 mm		19,1 mm		12,5 mm		9,5mm		4,75 mm		<4,75 mm	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
R.V. ácidas	12	55	31	38	250	50	204	42	172	35	202	40
R.V. intermedias-básicas	6	28	36	43	137	27	126	26	107	21	103	22
Rocas tobáceas	2	11	15	18	110	22	148	30	204	41	167	32
Rocas graníticas	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo	0	0	1	1	3	1	8	1	11	2	5	2
Conchillas	0	0	0	0	0	0	3	1	6	1	23	4
TOTAL	21	100	83	100	500	100	489	100	500	100	500	100
Retenido en tamiz (g)	722,1		1.368,5		6.319,5		3.055,9		3.621,1		129,4	
Porcentaje individual retenido s/ tamiz	4,7		9,0		41,5		20,1		23,8		0,9	

Tabla 2. Composición ponderada por fracción y en la muestra total (porcentajes en peso) (equivalente a la Tabla A.2 de IRAM 1649, 2008). Referencias: R.V.: rocas volcánicas.

Constituyentes	Porcentaje en peso de los constituyentes en cada fracción						Composición ponderada de la muestra
	25,4 mm	19,1 mm	12,5 mm	9,5mm	4,75 mm	<4,75 mm	
R.V. ácidas	2,6	3,4	20,8	8,4	8,2	0,4	43,7
R.V. intermedias-básicas	1,3	3,9	11,3	5,2	5,1	0,2	27,0
Rocas tobáceas	0,5	1,6	9,1	6,1	9,8	0,3	27,4
Rocas graníticas	0,3	0	0	0	0	0	0,3
Cuarzo	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0	1,3
Conchillas	0	0	0	0,2	0,2	0	0,4
Porcentaje retenido en tamiz	4,7	9	41,5	20,1	23,8	0,9	100


Figura 4. a) Composición del agregado en la muestra total b) Distribución de la composición del agregado retenido en los diferentes tamices. R.V.: rocas volcánicas.

partir del retenido en el tamiz de 9,5 mm y su contenido se incrementa a medida que disminuye el tamaño de las partículas. El cuarzo constituye entre el 1% y 2% de cada fracción analizada, exceptuando el tamiz de mayor tamaño (25,4 mm). Cabe aclarar que se estudió la fracción pasante tamiz 4,75 mm, parte integral del material que se explota en la cantera (no se excluye para su utilización), si bien la norma IRAM 1649 (2008) no la considera en el análisis petrográfico. Sin embargo, este contenido representa menos del 1% en peso de la muestra total y sus porcentajes no aportan modificaciones sustanciales a los valores obtenidos para la muestra total.

Método acelerado de la barra de mortero (Norma IRAM 1674, 1997)

La expansión medida según el ensayo acelerado de la barra de mortero se presenta en la Tabla 3 (CR100). El valor a los 16 días fue de 0,283%, muy superior al límite máximo

establecido en la norma (0,10%), lo que lo califica como clase R1 moderadamente reactivo ($0,10 < E \leq 0,30$) (Figura 5), según la tabla B.1 del Anexo B de la norma IRAM 1531 (2022).

Debido a que la mayoría de los componentes potencialmente reactivos identificados en el estudio petrográfico son de reacción rápida, con el propósito de evaluar si existe un efecto *pessimum*, se midieron las expansiones sobre morteros donde se reemplazó 15%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% y 85% en peso del agregado en estudio (CR) por una arena de uso comercial y de conocido comportamiento inocuo (AO: arena oriental), constituida por ~80% de cuarzo, con cantidades subordinadas de areniscas silíceas (~20%). Los resultados se muestran en la Tabla 3 y Figuras 5 y 6. Se puede observar que, aún en la mezcla con sólo 15% de CR (CR15), la expansión a los 16 días supera el límite máximo estipulado en la norma, habiéndose obtenido la mayor expansión con 40% de reemplazo por AO (CR60). Cabe mencionar que la representación gráfica de este efecto (Figura 6) presenta una ligera disminución en la expansión medida para la mezcla de proporciones iguales (CR50).

Tabla 3. Expansiones registradas en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997). AO: arena oriental, CR: canto rodado

Mezcla	AO (%)	CR (%)	Expansión a la edad (días)							
			5	7	9	12	14	16	21	28
CR100	0	100	0,029	0,144	0,169	0,221	0,260	0,283	0,336	0,374
CR85	15	85	0,033	0,162	0,197	0,252	0,301	0,324	0,383	0,424
CR70	30	70	0,032	0,188	0,203	0,257	0,316	0,347	0,411	0,465
CR60	40	60	0,112	0,206	0,252	0,314	0,348	0,361	0,436	0,494
CR50	50	50	0,031	0,160	0,164	0,228	0,281	0,295	0,351	0,395
CR40	60	40	0,082	0,168	0,207	0,272	0,304	0,315	0,386	0,441
CR30	70	30	0,033	0,150	0,171	0,232	0,292	0,305	0,386	0,433
CR15	85	15	0,015	0,088	0,102	0,156	0,212	0,225	0,301	0,345

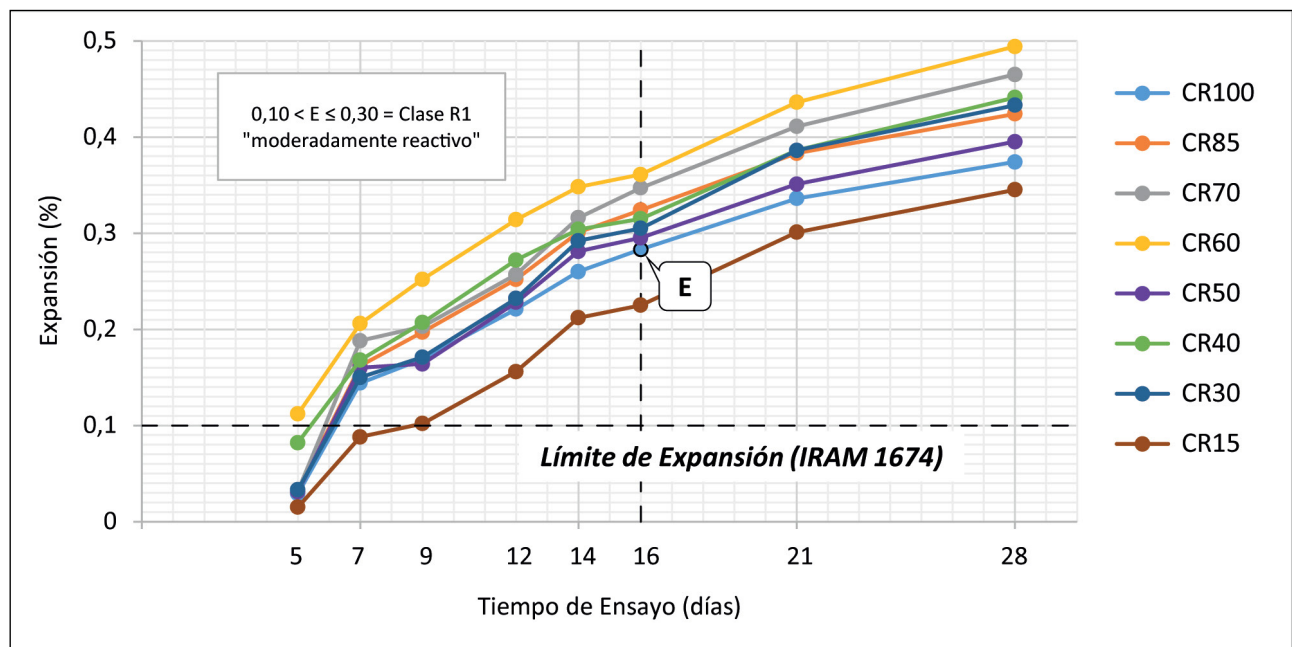


Figura 5. Expansión medida en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997).

Método del prisma de hormigón (IRAM 1700, 2013)

Ensayo acelerado

En la Tabla 4 y Figura 7, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo del prisma de hormigón acelerado. Se puede observar que la expansión a las 13 semanas es de 0,051%, superando el límite máximo (0,04%) estipulado por norma para este tipo de agregado, lo que lo califica como moderadamente reactivo ($0,04 < E \leq 0,12$), clase R1 según la tabla B1 del Anexo B de la norma IRAM 1531 (2022).

Ensayo convencional

En la Tabla 5 y Figura 8, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo del prisma de hormigón convencional. Se puede observar que la expansión a las 52 semanas es de 0,049%, superando el límite máximo (0,04%) estipulado por norma, lo que lo califica como moderadamente reactivo

($0,04 < E \leq 0,12$) clase R1 según la tabla B.1 del Anexo B de la norma IRAM 1531 (2022).

DISCUSIÓN

En comparación con trabajos previos realizados sobre los cantos rodados del área de estudio, la petrografía presentó algunas diferencias. En el presente estudio, se reconoció una mayor proporción de rocas volcánicas y no se identificaron cuarcitas y rocas sedimentarias, mencionadas en el tra-

Tabla 4. Expansiones medidas con el método del prisma de hormigón acelerado (IRAM 1700, 2013) a 60 °C.

Edad (semanas)	5	8	10	13	15	20
Expansión (%)	0,021	0,033	0,039	0,051	0,053	0,060

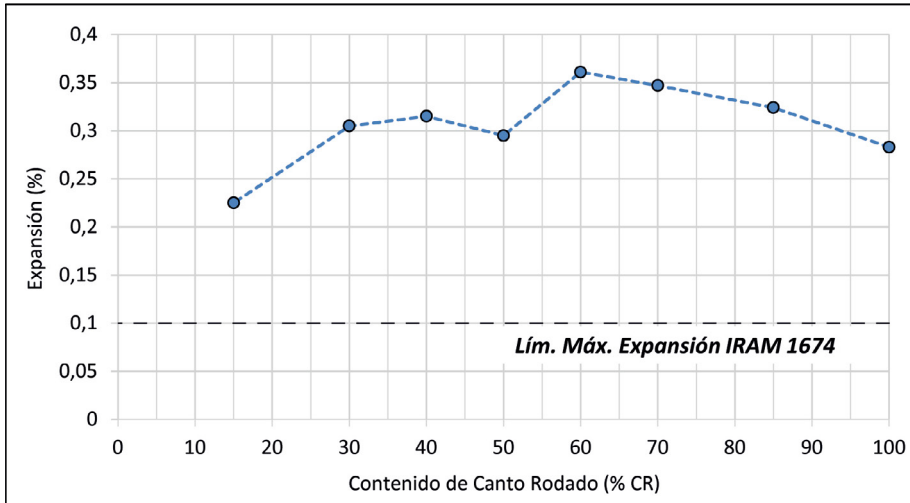


Figura 6. Expansión medida en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997) a 16 días, para evaluar el efecto *pessimum* con diferentes porcentajes de CR.

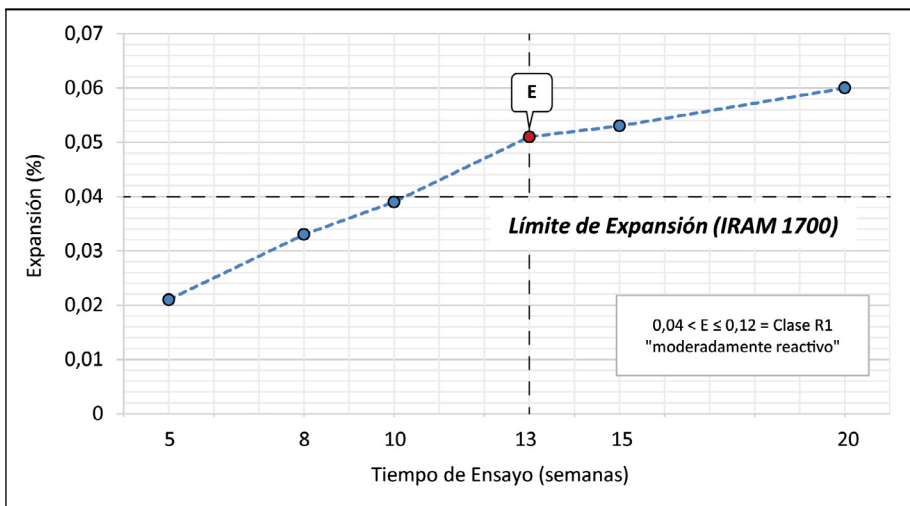


Figura 7. Expansión medida en el método acelerado del prisma de hormigón hasta las 20 semanas (IRAM 1700, 2013).

bajo de Maiza y Marfil (1997). Además, se observaron escasas partículas de cuarzo (~1%). Por otro lado, la abundancia de rocas volcánicas, entre las que predominan las vulcanitas ácidas, es una característica que este agregado comparte con los provenientes de la zona de Viedma. Solo una cantera de las estudiadas por Maiza et al. (2008), ubicada en la zona costera, presenta una composición similar, con fragmentos de valvas calcáreas. Sin embargo, las superficies de las partículas del canto rodado evaluado están limpias, no presentan crustificaciones superficiales carbonáticas o silíceas, ni adherencias. Las variaciones frecuentes en materiales de este origen, hace necesario realizar controles periódicos del material que se explota.

El canto rodado de la cantera estudiada contiene una elevada proporción de rocas volcánicas (ácidas, interme-

dias-básicas y tobáceas) en las cuales se constató, bajo el microscopio petrográfico, la presencia de texturas con proporciones variables de vidrio volcánico, generalmente alterado. Los productos provenientes de la desvitrificación parcial y total del vidrio volcánico comprenden: arcillas, cloritas, zeolitas y variedades de sílice cripto a microcristalina (calcedonia, tridimita, cristobalita y, en menor proporción, cuarzo microcristalino). Estos últimos, abundantes en muchos casos, son potencialmente reactivos frente a la RAS, conocidos como “de reacción rápida” (con excepción del cuarzo microcristalino, que es minoritario).

Los resultados de expansión en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, 1997) fueron muy superiores al máximo establecido en la norma. Debido a que los componentes potencialmente reactivos mayoritarios pre-

Tabla 5. Expansiones registradas en el método del prisma de hormigón convencional (IRAM 1700, 2013) a 38°C.

Edad (semanas)	1	2	4	8	13	18	26	45	52
Expansión (%)	0,012	0,010	0,012	0,009	0,018	0,022	0,034	0,045	0,049

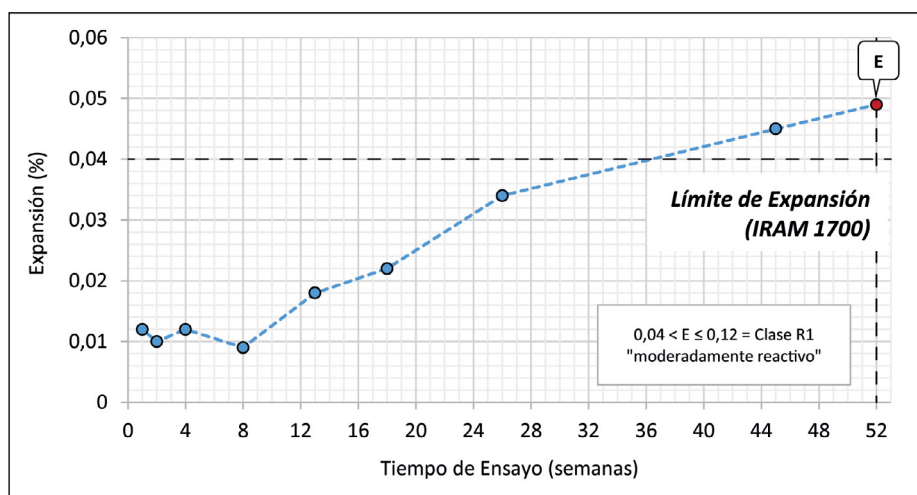


Figura 8. Expansión medida en el método convencional del prisma de hormigón hasta las 52 semanas (IRAM 1700, 2013).

sentes en el agregado son de reacción rápida y, considerando que este método tiende a dar falsos positivos, se verificó la reactividad alcalina potencial del agregado con el ensayo del prisma de hormigón (IRAM 1700, 2013) acelerado y convencional lo que permitió confirmar el comportamiento expansivo del agregado, calificándolo como moderadamente reactivo.

Respecto al efecto *pessimum*, se registró el mayor valor de expansión con 40% de reemplazo por AO (0,361%). Sin embargo, en todas las mezclas la expansión superó ampliamente el límite máximo estipulado en la norma, siendo para los extremos CR15 y CR85 de 0,225% y 0,324%, respectivamente.

CONCLUSIONES

- El canto rodado estudiado presenta componentes potencialmente reactivos, principalmente de reacción rápida. El vidrio volcánico se encuentra parcialmente alterado, y entre sus productos de desvitrificación se reconocen variedades de sílice cripto a microcristalina (calcedonia, tridimita, cristobalita). En muy baja proporción se identificó cuarzo microcristalino (de reacción lenta).

- La expansión medida en el ensayo acelerado de la barra de mortero a los 16 días es de 0,283%, superando el límite máximo establecido en la norma IRAM 1674.

- Si bien se observó un efecto *pessimum*, utilizando un 40% de reemplazo por arena no reactiva, todos los valores de expansión obtenidos superan ampliamente el límite máximo establecido en la norma IRAM 1674. Sin embargo, debería tenerse en cuenta este comportamiento en el caso de efectuar mezclas con otros agregados.

- Los resultados de expansión en el ensayo del prisma de hormigón (convencional y acelerado) superan el límite máximo estipulado en la norma IRAM 1700.

- Los tres métodos físicos empleados califican al canto rodado estudiado como moderadamente reactivo frente a

la RAS, clase R1 según la tabla B1 del Anexo B de la norma IRAM 1531. Por lo tanto, la utilización de este material como agregado grueso para hormigón requiere estrictamente del empleo de medidas tendientes a inhibir el desarrollo de la RAS.

- La variabilidad en la composición petrográfico-mineralógica del yacimiento torna necesario evaluar periódicamente la potencial reactividad de este tipo de agregados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección Nacional de Vialidad, Distrito 19, al Centro de Geología Aplicada Agua y Medioambiente, al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, al Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba y al Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, por el apoyo brindado. También agradecen a la Ingeniera María Eva Sosa por la revisión del trabajo y comentarios.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización - Análisis de datos: Constanza Naimé Bournod, Juan José Berezosky, Silvina Andrea Marfil, Francisco Locati y Darío Daniel Falcone. Metodología: Constanza Naimé Bournod, Juan José Berezosky, Darío Daniel Falcone, Lenís Madsen y Pedro José Maiza. Redacción - preparación del borrador original: Constanza Naimé Bournod, Juan José Berezosky, Silvina Andrea Marfil, Claudio Javier Zega y Lenís Madsen. Redacción - revisión y edición: Constanza Naimé Bournod, Juan José Berezosky, Darío Daniel Falcone, Silvina Andrea Marfil, Lenís Madsen, Francisco Locati, Claudio Javier Zega y Pedro José Maiza. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existe algún conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batic, O.R., Wainsztein, M. y Iñiguez, A. (1974). Estudios y experiencias sobre agregados para hormigones empleados en la zona de Bahía Blanca en relación a la reactividad alcalina potencial. *Anales LEMIT*, 1, 1-10.
- Berezosky, J., Lescano, L., Locati, F., Maiza, P. y Marfil, S. (2015). Behaviour of reactive sands in concrete. A case study. *International Conference on Sustainable Structural Concrete (La Plata)*, 349-358.
- Berezosky, J., Falcone, D., Locati, F., Madsen, L. y Marfil, S. (2016). Evaluación de la potencial reactividad de arenas utilizadas como agregado fino en la zona de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. *21º Reunión Técnica y VII Congreso Internacional de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (Salta)*, 357-364.
- Berezosky, J., Marfil, S. y Lescano, L. (2017). Análisis petrográfico de las arenas del sur de la provincia de Buenos Aires. Factibilidad de uso como agregado en hormigón. *3er Congreso Argentino de Áridos (Córdoba)*, 75-79.
- Falcone, D. (2013). *Antecedentes y metodología de ensayo para evaluar la reacción álcali-sílice*. Tesis de Magister inédita. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- IRAM 1531 (2022). *Agregado grueso para hormigón de cemento*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 1637 (1966). *Reacción álcali-agregado. Método de la barra de mortero para la determinación de la reactividad alcalina potencial*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 1649 (2008). *Examen petrográfico de agregados para hormigón*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 1674 (1997). *Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 1700 (2013). *Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- Maiza, P., Marfil S., Sota, J. y Batic, O. (1988). Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de reactividad potencial alcalina en áridos finos utilizados en Bahía Blanca y Punta Alta, Prov. de Buenos Aires. *II Jornadas Geológicas Bonaerenses (Bahía Blanca)*, 697-709.
- Maiza, P. y Marfil, S. (1997). Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov. de Bs. As. *1er. Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur (Santa Fe)*, 253-264.
- Maiza, P., Batic, O., Marfil, S., Grecco, L. y Giglio, P. (2008). Evaluación de la reactividad alcalina potencial de los agregados gruesos y finos utilizados en la zona de Viedma (Prov. de Río Negro). *Revista Hormigón*, 45, 41-52.
- Marfil, S. y Maiza, P. (1993). Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Bs. As.), en relación con la reacción álcali-agregado. *Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón (Córdoba)*, I, 1-10.
- Marfil, S. (1989). *La reacción álcali agregado. Investigación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, utilizados en Bahía Blanca y su zona de influencia*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Nacional del Sur.
- Marfil, S. y Maiza, P. (1989). Análisis multivariado (Componentes principales) aplicado al estudio de la composición de agregados finos utilizados en la zona de Bahía Blanca. *IX Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del hormigón (Buenos Aires)*, II, 277-284.
- Nicolás, R.E., Kostadinoff, J. y Schillizzi, R. (1986). Correlación entre geoformas superficiales y observaciones geofísicas en Bahía Anegada. Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 41, 245-255.
- Sims, I. y Poole, A.B. (2017). *Alkali-aggregate reaction in concrete: A world review*. CCR Press. Taylor & Francis Group.