



Caracterización petrográfica de materiales pétreos provenientes del río Calera, provincia de Tucumán, para su uso como áridos. Valoración de calidad respecto de su reactividad alcalina potencial

Petrographic characterization of petrous materials from the Calera river, Tucumán province, for their use as aggregates. Quality assessment of their potential alkaline reactivity

Franco E. TOMO^{1,3*}, Ana FOGLIATA^{1,2}, Janet I. SARAPURA MARTÍNEZ^{2,3}

¹ Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 251, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.

² Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

* francotomo@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del río Calera, ubicado al NE de la provincia de Tucumán, Argentina, presenta una variedad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con diferentes características mineralógicas. Se realizó una caracterización petrográfica de los agregados gruesos extraídos de un área del río de estudio, ubicada aproximadamente a 16 km al NEE de San Miguel de Tucumán. El objetivo es determinar si existen componentes minerales potencialmente reactivos respecto de la reacción álcalis-sílice (RAS), un tipo de reacción química expansiva que puede producir el deterioro del hormigón. Estos estudios se realizaron siguiendo los parámetros establecidos en los métodos de ensayo de las normas IRAM 1649 e IRAM 1531.

Palabras clave — RAS, hormigón, petrografía, áridos, Río Calera.

► Ref. bibliográfica: Tomo, F. E.; Fogliata, A.; Sarapura Martínez, J. I. 2021. "Caracterización petrográfica de materiales pétreos provenientes del río Calera, provincia de Tucumán, para su uso como áridos. Valoración de calidad respecto de su reactividad alcalina potencial". *Acta Geológica Lilloana* 33 (2): 58-73. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2021.33.2/2021-11-26>

► Recibido: 23 de agosto 2021 – Aceptado: 26 de noviembre 2021



► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

ABSTRACT

The Calera river basin, located in the NE area of Tucumán province, Argentina, presents a variety of igneous, metamorphic and sedimentary rocks with different mineralogical characteristics. A petrographic characterization of the coarse aggregates from a particular area of the studied river, located at 11 km NE of San Miguel de Tucumán, was made to determine if there are mineral components that could be potentially reactive for alkali-silica reaction (ASR), an important damage mechanism that can originate the deterioration of concrete. These studies were made following the parameters established by IRAM 1649 and IRAM 1531 standard test methods.

Keywords — ASR, concrete, petrography, aggregates, Calera River.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la construcción en la provincia de Tucumán, en lo que respecta a vías de comunicación, viviendas y otras obras civiles se incrementó en gran escala, con un consecuente aumento en la explotación de canteras de áridos en los ríos de la provincia. El río Calera, ubicado en el NE de Tucumán, es uno de los principales ríos de donde se extraen materiales naturales para abastecer las necesidades requeridas por la sociedad, en especial del Área Metropolitana de Tucumán, por lo que un estudio sobre las características y calidad de los materiales pétreos provenientes de este sector es de fundamental importancia.

Entre los distintos estudios que se realizan para determinar la calidad del material, el primer ensayo a llevar a cabo es el análisis petrográfico, ya que los aspectos litológicos y mineralógicos de los agregados son factores que influyen de forma directa en el comportamiento y durabilidad de las obras civiles a construir; es decir, el tipo de material pétreo empleado puede determinar si el hormigón va a sufrir algún tipo de deterioro con el tiempo o si poseen las características apropiadas para su uso en algún tipo de obra ingenieril o civil. Además, entre las muchas causas que producen deterioro en el hormigón (por ejemplo fisuración por contracción, exposición a temperaturas extremas, abrasión y erosión, ataques químicos, etc.), hay un tipo de deterioro causado por una reacción química deletérea interna en el hormigón denominada reacción álcali-sílice o RAS (Batic y Sota, 2001) en el que la mineralogía y textura (Coelho dos Santos *et al.*, 2014) de los agregados juega un papel muy importante.

La reacción álcali-sílice fue identificada por primera vez por Stanton (1940, 1942), es una reacción química que se produce entre los iones oxhidrilos (OH^-) en presencia de álcalis (Na^+ , K^+) y Ca^{+2} , presentes en la solución de poro del hormigón, y ciertos materiales silíceos tales como el ópalo, calcedonia, vidrio volcánico, tridimita-cristobalita (sílice metaestable) o cuarzo tensionado (metamórfico), que pueden componer los agregados utilizados como áridos en morteros y hormigones de cemento pórtland (Batic y Sota, 2001; Milanese *et al.*, 2016).

El producto de esta reacción es un gel sílico-alcalino hidratado el cual bajo determinadas condiciones, principalmente en ambientes de alta humedad, es capaz

de absorber agua y generar expansiones dentro de la estructura del hormigón, suficientes para producir la rotura del mismo, afectando la vida útil de la estructura (Fava *et al.*, 1961; Milanesi *et al.*, 2016).

Según la forma y el estado en que se presenta la sílice reactiva en el agregado se reconocen dos cinéticas de reacción álcalis-sílice:

1) Rápida o de reacción temprana (Saouma *et al.*, 2015): las rocas contienen materiales silíceos criptocristalinos o pobremente cristalizados como son: ópalo, tridimita, cristobalita, calcedonia y vidrio volcánico, tales componentes, incluso en muy bajas proporciones, pueden provocar deterioros en el hormigón en un tiempo corto, a pocos años de construida la estructura.

2) Lenta o de reacción diferida o tardía (Saouma *et al.*, 2015): los agregados contienen formas de cuarzo microcristalino, tensionado y/o fuertemente deformado, estos componentes presentan una reacción lenta o diferida, con signos de deterioro externo en el hormigón luego de 20 años aproximadamente.

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización geológica, mineralógica y textural de los áridos naturales que se encuentran en un tramo del río Calera (Fig. 1), haciendo especial atención en la presencia o no de constituyentes reactivos para determinar si el material, desde un punto de vista petrográfico es potencialmente reactivo frente a la RAS, ya que no existen antecedentes sobre esta temática en el área. Para el respectivo análisis se siguieron los lineamientos establecidos en las normas IRAM 1649 (2008) y 1531 (2016). Estas normas establecen los procedimientos de muestreo de los agregados, descripción, clasificación y determinación de las cantidades relativas de los constituyentes potencialmente reactivos de la muestra, además de establecer los límites de sustancias potencialmente reactivas. Hay que tener en cuenta que la presencia de estos materiales no significa que los agregados no sean aptos para su uso en hormigón o que tendrán un mal desempeño en obras de servicio, ya que para que se desarrolle la RAS es necesaria la concurrencia de otros dos factores: un elevado contenido de álcalis y humedad relativa superior al 80 %. Si uno de estos factores no está presente la reacción no se desarrollará. (Stark, 1991; Helmuth *et al.*, 1993; Kagimoto *et al.*, 2016; Pérez Marfil *et al.*, 2017).

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La cuenca del río Calera (Fig. 1) se encuentra emplazada en las Sierras del Noreste (provincia de Tucumán), integrada por cuatro sierras de baja altura y rumbos meridionales, conocidas como sierra de La Ramada, del Campo, Nogalito y Medina (Alderete, 1998). Las mismas se ubican dentro de la unidad morfoestructural del Sistema de Santa Bárbara (Rolleri, 1976). El núcleo de estas sierras está constituido por rocas metamórficas de bajo grado pertenecientes a la Formación Medina (Bossi, 1969), unidad constituida por metagrauvacas, pizarras, filitas y cuarcitas de colores gris verdoso a rojizos, grises y verdes. Estas rocas, pueden ser incluidas en la Formación Puncoviscana s.l. de edad neoproterozoica-eocámbrica siguiendo los criterios de Aceñolaza y Aceñolaza (2005). Por encima de las metamorfitas se encuentra una

serie de sedimentitas de edad cretácica media a superior definidas por Bossi (1969) como Formación El Cadillal y sedimentitas terciarias definidas como Formación Río Loro y Formación Río Salí, además de acumulaciones cuaternarias.

En el sector suroriental de la sierra de Medina, además, aflora un conjunto compacto de cuerpos, en su gran mayoría traquíticos y, en menor escala, andesíticos y riolíticos, de edad cretácica superior, definido como Complejo Alto de las Salinas (Bossi y Wampler, 1969); también se reconocieron rocas basálticas emplazadas en las sedimentitas cretácicas principalmente, definidas como Formación Periquillo por Porto (1981).

El río Calera se encuentra en el ambiente hidrogeológico de la llanura oriental tucumana, limitada al norte por las sierras de Medina y La Ramada, al este por el Espolón de Tacanas (Tineo *et al.*, 1984), al oeste con la sierra del Aconquija y al sur con la desembocadura del río Calera en el río Salí. Esta cuenca hidrográfica se origina a los 1.660 m.s.n.m., entre el faldeo oriental de la sierra de Medina y el occidental de la sierra del Nogalito, con rumbo aproximado Norte-Sur, donde recibe el nombre de río Medina, que luego al llegar a la localidad del Sunchal pasa a denominarse río Calera. Otros cursos fluviales de menor categoría que alimentan y desembocan en el río Medina y Calera son el Río Sucio, arroyo Puerta de Palavecino, arroyo Artaza y arroyo Tranquitas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la toma de muestras representativas de cantos rodados que se encuentran presentes en un área del río Calera ubicada entre las coordenadas 26°40'38.40"S y 65°4'5.71"O como límite norte y 26°41'1.92"S y 65°4'24.93"O como límite sur (Fig. 1). Para realizar el estudio petrográfico se procedió al cuarteo de las muestras y posterior tamizado utilizando tamices 2", 1½", 1" y N° 4. Luego se agruparon los distintos litotipos mediante descripción macroscópica utilizando lupa binocular Olympus SZ61, se realizó un cálculo de proporción litológica para cada granulometría y por último se tomó una muestra de cada tipo litológico a fin de realizar análisis petrográficos sobre secciones delgadas con microscopio petro-calcográfico Olympus BX51. Los equipos utilizados se encuentran en el Instituto de Mineralogía, Petrología, Volcanología y Yacimientos Minerales de la Fundación Miguel Lillo.

El estudio petrográfico se realizó según la norma IRAM 1649 (2008), mientras que para evaluar la potencial reactividad de los agregados se tomaron los límites establecidos en la norma IRAM 1531 (2016).

RESULTADOS

Descripción de las secciones delgadas

Las muestras tomadas del sector estudiado del río Calera presentan una gran variedad de litologías: se identificaron rocas ígneas volcánicas (basaltos y riolitas), metamórficas (esquistos, filitas y cuarcitas), sedimentarias (areniscas, wackes y calizas) y

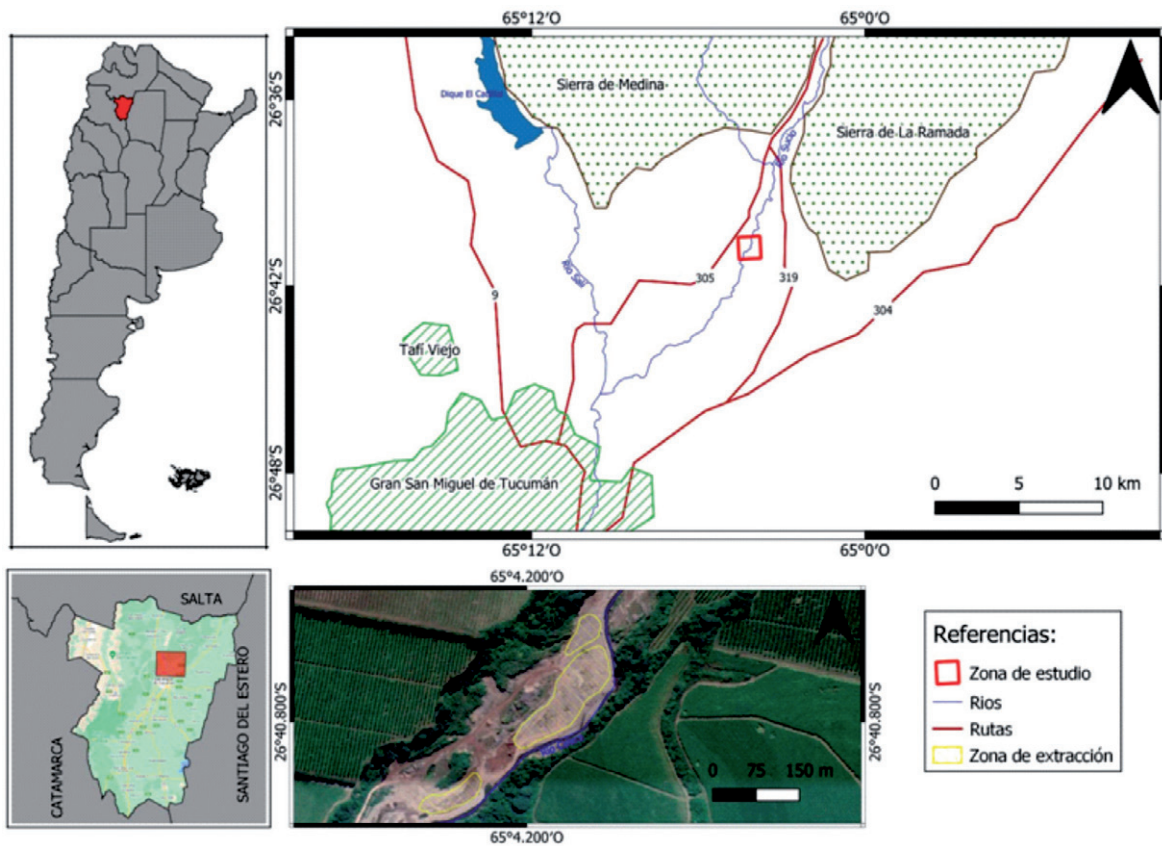


Figura 1. Mapa de ubicación de la provincia de Tucumán en la República Argentina y del área de estudio en el sector centro noreste de la provincia.

agregados monominerales. Los clastos analizados presentan morfologías prismáticas (ígneas y sedimentarias) a tabulares y planas (metamórficas), subredondeados a subangulosos.

En lo que respecta a las rocas ígneas volcánicas, se observaron basaltos de color negro y estructura masiva. Bajo lupa presentan textura afanítica y otros porfírica con fenocristales de plagioclasa. En algunos clastos se observó la presencia de vesículas rellenas de yeso. Al microscopio la roca presenta textura porfírica, compuesta por 50% de matriz microcristalina y 50% de fenocristales de plagioclasa (35%), piroxenos (30%) y olivino (30%). Otros minerales presentes son cuarzo (<5%) y minerales opacos (Fig. 2A y 2B). Los fenocristales de plagioclasa son euhedrales a subhedrales con sus bordes alterados a sericita y caolinita. Como constituyente de la matriz, se presenta con hábito en tablilla, y con una alteración moderada a sericita y moscovita. Los piroxenos, diópsido y augita, son subhedrales, algunos cristales presentan una alteración a hornblenda y otros presentan bordes alterados a minerales opacos. Se observan moderadamente fracturados. El olivino es anhedral, con hábito granular y con fracturas, entre las cuales puede haber minerales opacos al igual que en bordes. Se observa la presencia de minerales opacos entre fracturas y en los bordes. El cuarzo (900 μm) es escaso en la roca, presenta forma anhedral y extinción ondulante. La presencia de minerales opacos (hematita y magnetita) es abundante, se los encuentra tanto en la matriz como reemplazando minerales primarios. No se observó vidrio

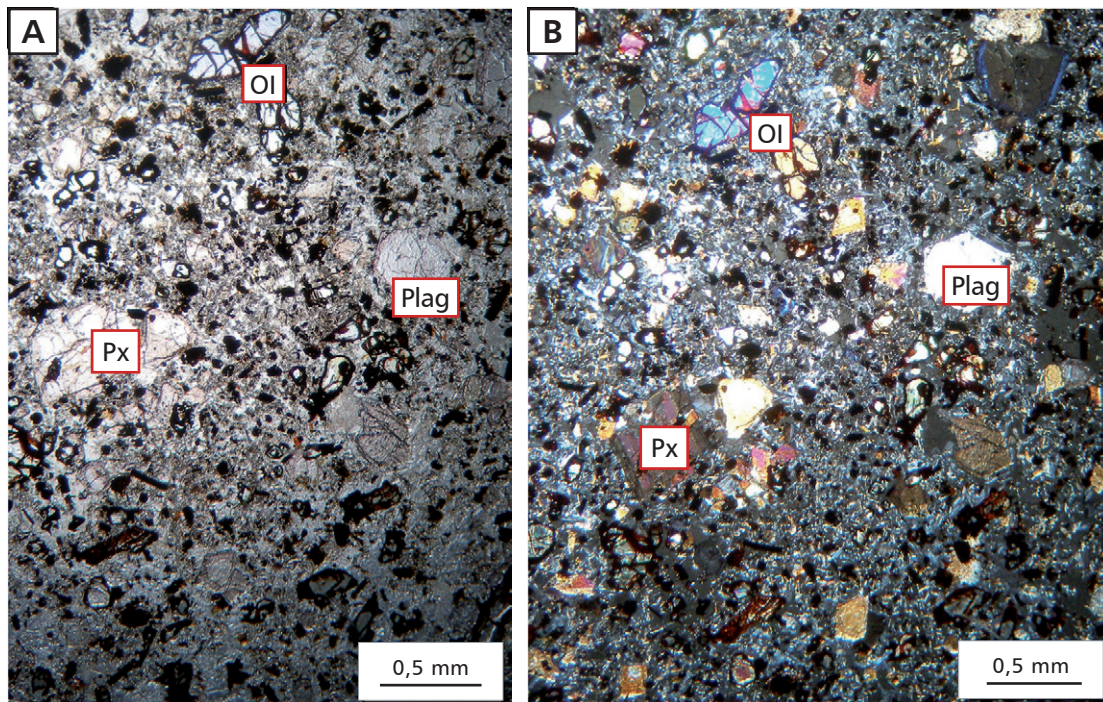


Figura 2: Fotomicrografías del basalto. **A)** Nicoles paralelos. **B)** Nicoles cruzados. Se observa una roca con textura porfírica, compuesta por fenocristales de plagioclasa (Plg), piroxenos (Px) y olivino (Ol) en una matriz microcristalina. Además se observan alteraciones a minerales opacos (hematita principalmente).

volcánico ni minerales potencialmente reactivos frente a la RAS, el contenido de arcillas, que se encuentran como productos de alteración, es menor al 2%.

Las riolitas son de color gris a rosado, de estructura masiva. Bajo lupa presentan textura fanerítica con fenocristales de cuarzo, feldespato y biotita. Al microscopio la roca presenta textura porfírica, compuesta de 60% de matriz y 40% de fenocristales de los cuales el 50% es cuarzo (1,5 mm a 1,0 mm), 35% feldespatos (1,25 mm) y 15% de micas y opacos. La matriz es microcristalina ($<50 \mu\text{m}$) a criptocristalina ($<15 \mu\text{m}$) (Fig. 3A y 3B) compuesta principalmente por cuarzo, feldespatos levemente alterados a caolinita y minerales opacos. Los fenocristales de cuarzo son anhedrales, con bordes corroídos y procesos de recrystalización en los bordes (Fig. 3C). Algunos cristales se encuentran moderadamente fracturados, en cuyas fracturas invadió la matriz. El feldespato potásico subhedral, en algunos de los cuales se observan procesos de pertitización y se presentan levemente alterados a sericita y caolinita. La biotita es escasa (3%) y se la observa desferrizada. La muscovita (2%) también es escasa y está asociada a los feldespatos. Los minerales opacos (10%) están dispersos en la matriz de la roca. En estas rocas se observan algunos constituyentes potencialmente reactivos: cuarzo microcristalino/criptocristalino presente en la matriz de la roca y cuarzo microcristalino recrystalizado en los bordes de los fenocristales de cuarzo.

Entre las rocas metamórficas se identificaron esquistos de color gris oscuro, grano fino, con estructura esquistosa incipiente. Bajo lupa binocular se puede observar que la roca está constituida principalmente por cuarzo, micas y óxidos de hierro. Algunos clastos presentan venillas de cuarzo de 2 mm a 7 mm de espesor.

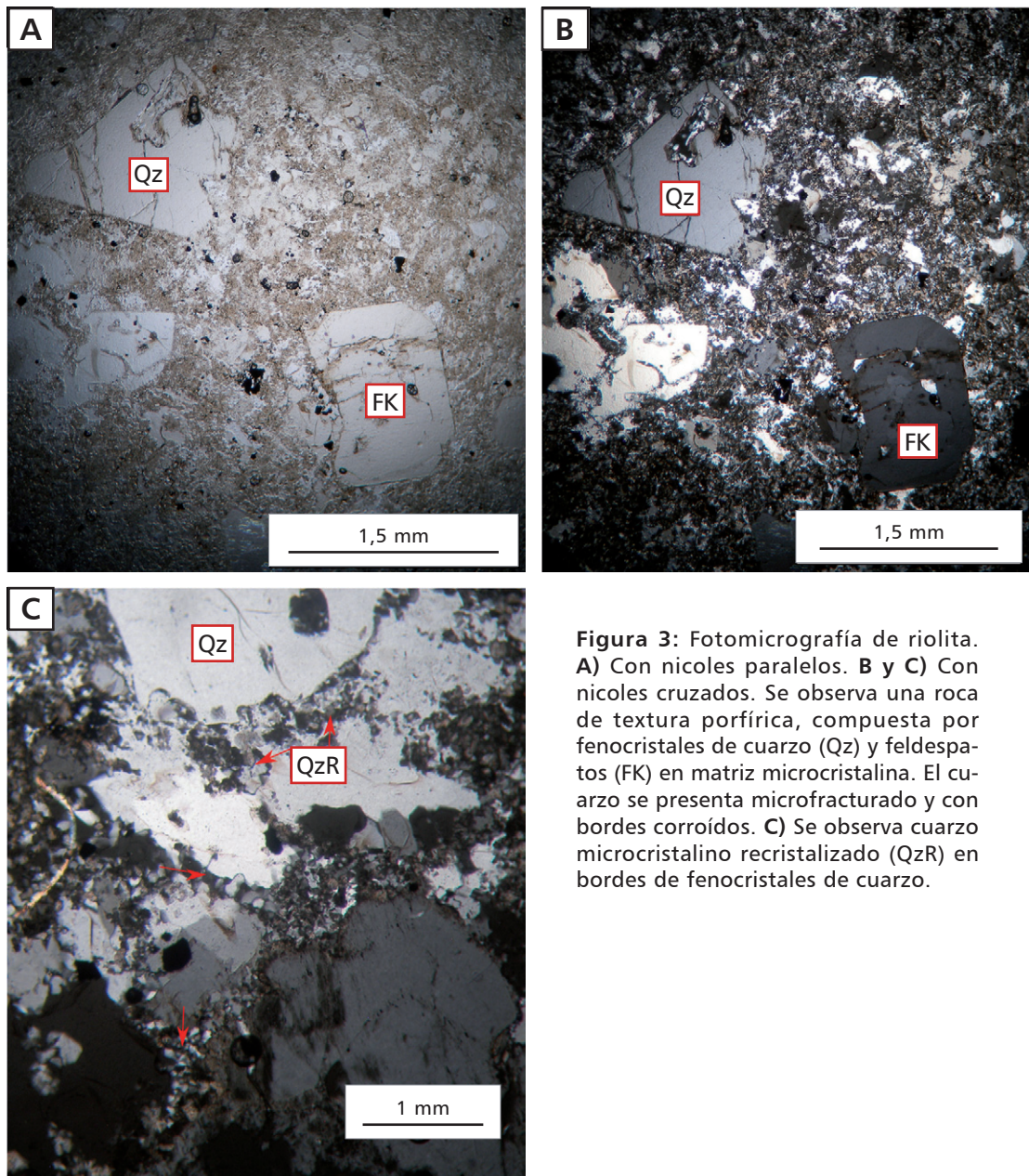


Figura 3: Fotomicrografía de riolita. **A)** Con nicols paralelos. **B y C)** Con nicols cruzados. Se observa una roca de textura porfírica, compuesta por fenocristales de cuarzo (Qz) y feldespatos (FK) en matriz microcristalina. El cuarzo se presenta microfracturado y con bordes corroídos. **C)** Se observa cuarzo microcristalino recristalizado (QzR) en bordes de fenocristales de cuarzo.

Al microscopio el esquistado presenta textura granoblástica bimodal, los minerales de cuarzo, calcita, feldespato potásico (microclino) y clorita se encuentran conformando un mosaico con dos tamaños de grano diferentes generando un bandeamiento poco definido (Fig. 4A y 4B). El cuarzo es el principal componente (70%) y se lo encuentra formando bandas con textura granoblástica poco definidas: bandas de grano fino a microcristalino ($50 \mu\text{m}$ a $20 \mu\text{m}$) (Fig. 4C) y bandas de grano grueso ($200 \mu\text{m}$ a $400 \mu\text{m}$). El cuarzo es anhedral, con extinción ondulante, lo que indica un cierto grado de deformación, algunos granos también presentan microfracturas (Fig. 4D). La calcita es abundante (10%) y de origen secundario y se la observa desarrollando parches de buen desarrollo en distintos sectores del corte. El feldespato potásico es escaso (5%), se encuentra junto al cuarzo formando el mosaico granoblástico y está alterado levemente a caolinita. La clorita (15%), de origen secundario como alteración de

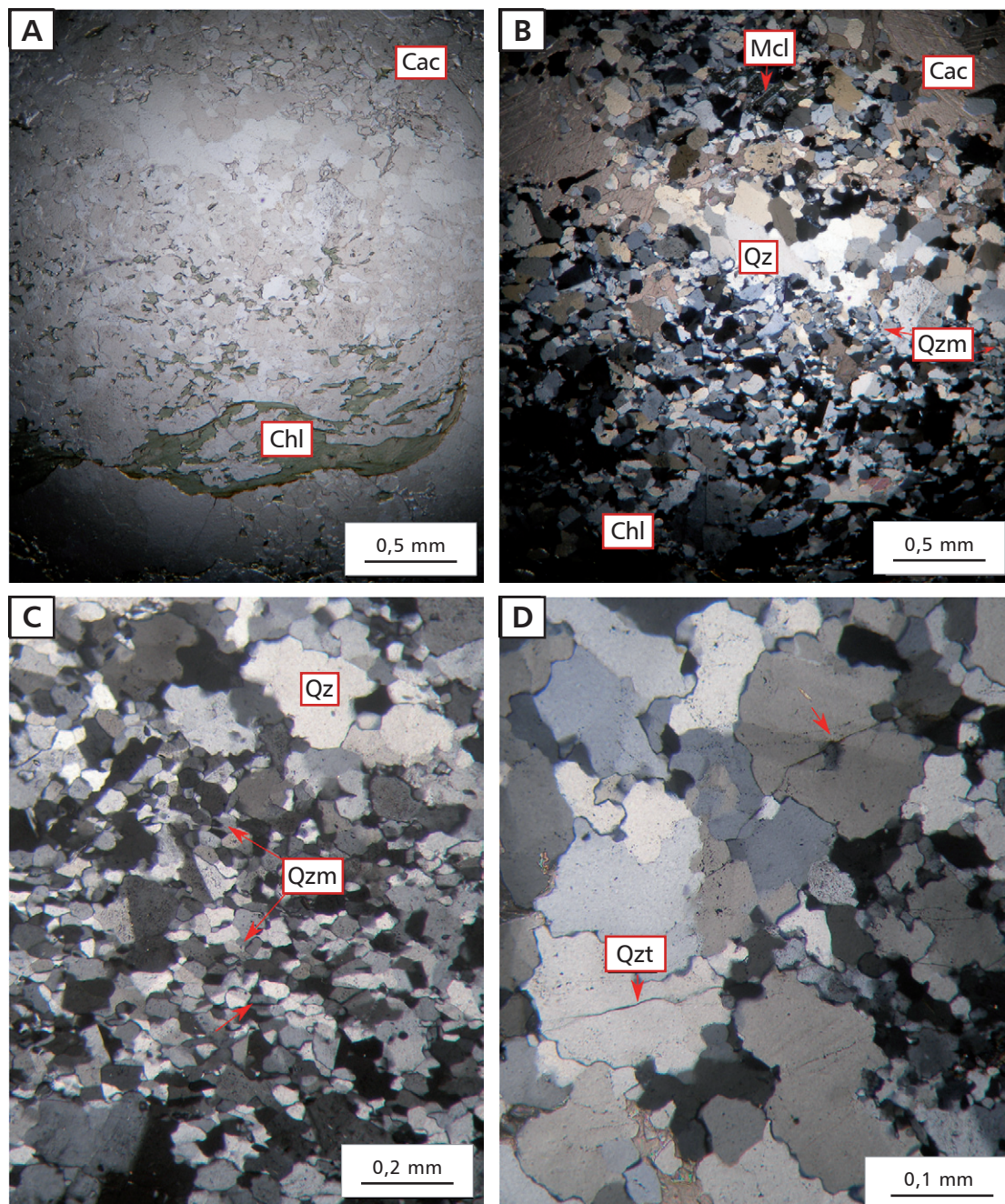


Figura 4. Fotomicrografía de esquist. **A)** Con nicoles paralelos. **B, C y D)** Con nicoles cruzados. Se observa textura granoblástica conformada por granos de cuarzo (Qz) de dos tamaños diferentes y microclino (Mcl) formando bandas poco definidas. También se observan parches de calcita (Cac) y clorita de hábito hojoso (Chl). **C)** Cuarzo microcristalino (Qzm). **D)** Cuarzo tensionado y microfracturado (Qzt).

biotita, se la observa con orientación poco marcada, aparece formando venillas. Entre los constituyentes potencialmente reactivos frente a la RAS se identificó cuarzo microcristalino, cuarzo tensionado y cuarzo microfracturado.

Las filitas son de color gris plata a gris oscuro, de grano fino, estructura esquistosa muy marcada y desarrollada. Bajo lupa binocular se identificó muscovita y cuarzo. Al microscopio la roca presenta textura grano-lepidoblástica, con marcada

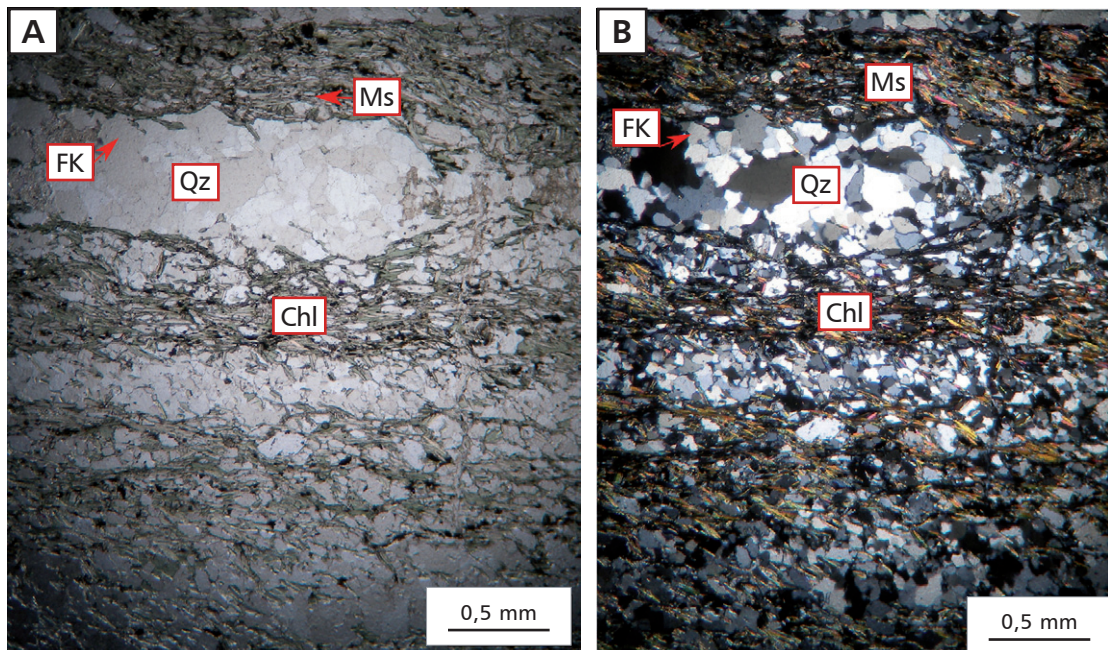


Figura 5. Microfotografía de filita. **A)** Con niculos paralelos. **B)** Con niculos cruzados. Se observa la esquistosidad marcada, dada por bandas de cuarzo (Qz) y feldespato (FK) de grano muy fino con textura granoblástica y bandas de cloritas (Chl) y muscovita (Ms) orientadas con textura lepidoblástica.

esquistosidad, determinada por bandas granoblásticas de cuarzo ($400\ \mu\text{m}$), cuarzo microcristalino ($60\ \mu\text{m}$ a $30\ \mu\text{m}$) y feldespato potásico ($250\ \mu\text{m}$), y bandas lepidoblásticas de clorita y muscovita con marcada orientación (Fig. 5A y 5B). El cuarzo (60%) es anhedral, con extinción ondulante sin fracturas. Las láminas de clorita (20%) y muscovita (15%) se agrupan formando bandas que intercalan con los sectores más cuarzosos (Fig. 5A y 5B). El feldespato es escaso (5%), es anhedral y se encuentra alterado levemente a caolinita, sericita y calcita. En esta roca, el principal componente potencialmente reactivo es el cuarzo microcristalino y tensionado.

Entre las rocas sedimentarias se reconocieron areniscas de color rojizo, de grano medio a grueso, estructura masiva y compacta. Bajo lupa binocular se identificaron clastos de cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro. Al microscopio las sedimentitas presentan una textura clasto soporte, moderadamente seleccionada y compuesta principalmente por granos de cuarzo, fragmentos líticos, feldespatos, minerales opacos y calcedonia (Fig. 6A y 6B). El cuarzo se lo encuentra anhedral, anguloso a subanguloso, moderadamente fracturado, algunos con bordes corroídos y recrystalizados sin evidencias de deformación. También se encuentra en la matriz, como cuarzo microcristalino. Los fragmentos líticos son principalmente metamórficos y en menor medida clastos sedimentarios, los cuales son subredondeados a subangulosos, y se encuentran alterados moderadamente a caolinita. Entre ellos se reconocieron fragmentos de chert, reconocido como un mineral potencialmente reactivo (Fig. 6C). Los feldespatos son escasos y están alterados a caolinita y sericita, llegando incluso a estar completamente reemplazados por estos minerales. Los minerales opacos son abundantes en la matriz de la roca. Por último la calcedonia se encuentra como cemento y rellenando los poros de la roca (Fig. 6D), este mineral también es

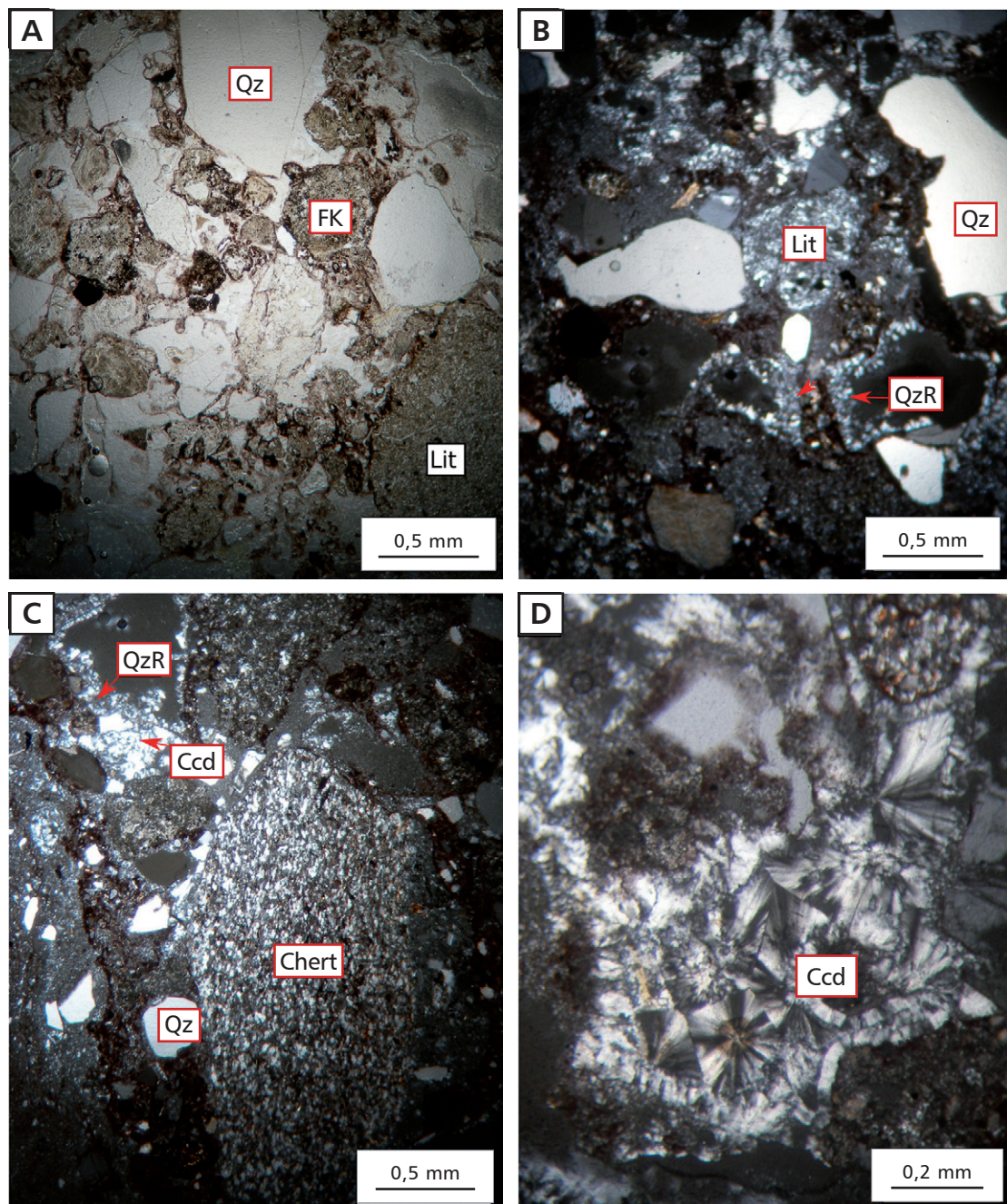


Figura 6. Fotomicrografía de arenisca. **A)** Con nicoles paralelos. **B, C y D)** Con nicoles cruzados. Fragmentos de cuarzo (Qz), algunos con recristalización en sus bordes (QzR), fragmentos líticos (lit) y feldespato potásico (Fk) alterados a caolinita; calcedonia (Ccd) como cemento silíceo. En la imagen **C** se observan fragmentos líticos de chert y en **D** se observa calcedonia (Ccd) conformando el cemento de la roca.

considerado potencialmente reactivo desde el punto de vista de la RAS. También como constituyentes potencialmente reactivos se observó cuarzo microcristalino recristalizado.

También se determinaron wackes de color rojizo, de grano muy fino, compactos, con estratificación desarrollada. Bajo lupa binocular se observaron micas y cuarzo principalmente. Al microscopio la roca se caracteriza por ser matriz soporte y tener

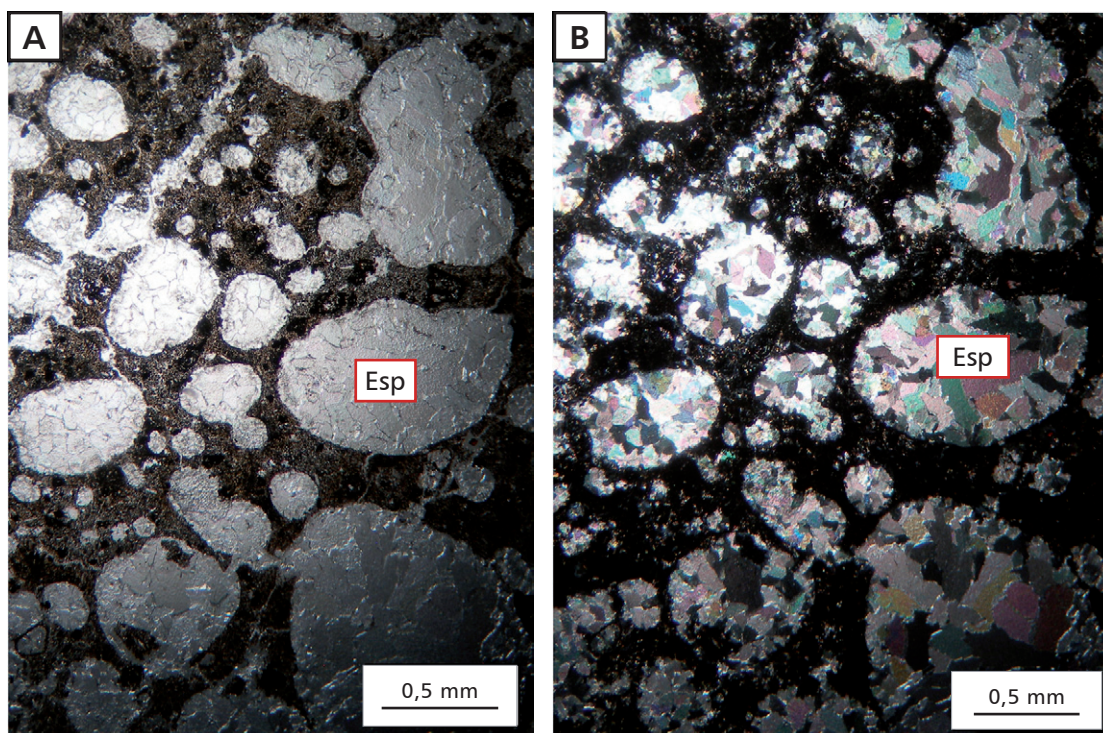


Figura 7. Fotomicrografía del wacke. A) Con nicols paralelos. B) Con nicols cruzados. Esparita (Esp) relleno de poros muy redondeados, también en venillas. Matriz microcristalina de plagioclasa muy alterada y minerales opacos.

una mala selección. La misma está compuesta principalmente por esparita, plagioclasa y cuarzo (Fig. 7A y 7B). La esparita es abundante, posiblemente de origen secundario, se encuentra en clastos muy redondeados y de gran desarrollo; también se encuentra reemplazando completamente a minerales primarios y relleno de venillas y espacios vacíos. La plagioclasa es abundante en la matriz y está muy alterada a sericita y caolinita; también se observan minerales opacos. El cuarzo es escaso, se lo encuentra principalmente en la matriz de forma microcristalina ($50 \mu\text{m}$ a $40 \mu\text{m}$) y es el único constituyente potencialmente reactivo.

Por último, se observaron calizas oolíticas de color amarillento de grano medio, estructura compacta, con estratificación pobre. Al microscopio la roca presenta textura oolítica, clasto soporte y buena selección. Está compuesta por 90% de ooides carbonáticos, 8% de cuarzo y 2% de plagioclasa (Fig. 8A y 8B). Los ooides carbonáticos presentan en su mayoría una simetría esférica, pero se encuentran algunos más elípticos, con núcleos de carbonato. Los tamaños varían entre $200 \mu\text{m}$ y $700 \mu\text{m}$ de diámetro. El cuarzo es anhedral, subanguloso a subredondeado, de poco desarrollo ($200 \mu\text{m}$ a $400 \mu\text{m}$), sin deformación (Fig. 8A y 8B). La plagioclasa es subhedral, subredondeada, con hábito tabular corto, sin alteraciones. No se identificaron componentes potencialmente reactivos frente a la RAS.

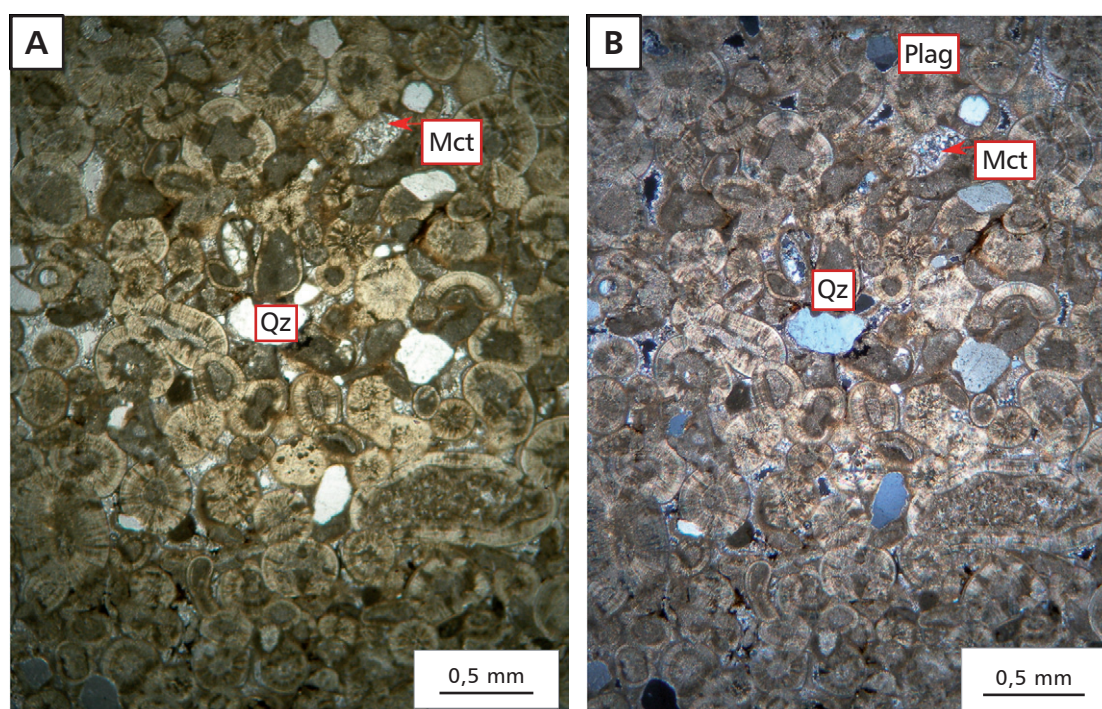


Figura 8. Fotomicrografía de la caliza. **A)** Con nicoles paralelos. **B)** Con nicoles cruzados. Roca compuesta casi en su totalidad por ooides carbonáticos. Cuarzo (Qz) y plagioclasa (Plag) en menor proporción. Matriz micrítica (Mct).

Aplicación de la norma IRAM 1649

Del análisis de proporción litológica (Tabla 1) se puede observar que el litotipo predominante en los materiales analizados es el basalto (litotipos A1 y A3 principalmente); en segundo lugar se encuentran las metamorfitas y en menor proporción las sedimentitas.

Tabla 1. Cálculo de proporción litológica de los cantos rodados provenientes de la zona de estudio.

Composición de fracciones retenidas en los tamices				
Porcentaje individual retenido en tamiz	2" 50 mm	1 1/2" 30 mm	1" 20 mm	Nº 4 5 mm
	20,6 %	36,4 %	40,9 %	2,1 %
Constituyentes	%	%	%	%
Basalto Afanítico (A1)	38,80	32,10	25,80	20,30
Basalto plagioclásico (A2)	5,50	6,50	3,20	2,20
Basalto con hematita (A3)	16,60	36,40	47,40	41,40
Basalto con yeso (A4)	5,50	0,00	0,60	0,00
Riolita (B1)	0,00	1,40	1,60	1,90
Esquisto (C1)	11,10	2,20	4,20	6,20
Filita (D1)	0,40	1,40	4,60	6,40
Arenisca rojiza grano fino (E1)	5,50	8,70	1,80	1,40
Arenisca rojiza grano grueso (E2)	0,00	5,00	1,60	1,90
Caliza oolítica (F1)	5,50	2,90	2,40	2,10
Wacke (G1)	11,10	2,00	2,20	1,60
Cuarzo monomineral (H1)	0,00	1,40	4,60	14,60

Tabla 2. Porcentaje ponderado de los diferentes constituyentes presentes en las muestras provenientes del sector estudiado del río Calera.

Constituyentes	Porcentajes de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM				Composición ponderada de la muestra
	2" 50 mm	1 1/2" 30 mm	1" 20 mm	N° 4 5 mm	
A1	7,99%	11,68%	10,55%	0,43%	30,66%
A2	1,13%	2,37%	1,31%	0,05%	4,85%
A3	3,42%	13,25%	19,39%	0,87%	36,93%
A4	1,13%	0,00%	0,25%	0,00%	1,38%
B1	0,00%	0,51%	0,65%	0,04%	1,20%
C1	2,29%	0,80%	1,72%	0,13%	4,94%
D1	0,00%	0,51%	1,88%	0,13%	2,53%
E1	1,13%	3,17%	0,74%	0,03%	5,06%
E2	0,00%	1,82%	0,65%	0,04%	2,51%
F1	1,13%	1,06%	0,98%	0,04%	3,21%
G1	2,29%	0,80%	0,90%	0,03%	4,02%
H1	0,00%	0,53%	1,88%	0,31%	2,72%

Tabla 3. Constituyentes potencialmente reactivos frente a la RAS observados en las diferentes litologías estudiadas. Cálculo de composición ponderada total (CPRT) de los diferentes componentes reactivos en los distintos litotipos analizados.

Componente	Cuarzo microcristalino < 62 µm			Cuarzo tensionado			Calcedonia			Chert		
	%cpr	%CPR	%CPRT	%cpr	%CPR	%CPRT	%cpr	%CPR	%CPRT	%cpr	%CPR	%CPRT
A1	0,00%	0,000%	0,03%	0,00%	0,0%	0,021%	0,00%	0,00%	0,003%	0,00%	0,00%	0,001%
A2	0,00%	0,000%		0,00%	0,0%		0,00%	0,00%				
A3	0,00%	0,000%		0,00%	0,0%		0,00%	0,00%				
A4	0,00%	0,000%		0,00%	0,0%		0,00%	0,00%				
B1	50,00%	0,006%		0,00%	0,0%		0,00%	0,00%				
C1	35,00%	0,017%		25,00%	0,012%		0,00%	0,00%				
D1	40,00%	0,008%		40,00%	0,008%		0,00%	0,00%				
E1	2,00%	0,001%		0,00%	0,00%		0,00%	0,00%				
E2	2,00%	0,001%		0,00%	0,00%		10,00%	0,003%				
F1	0,00%	0,000%		0,00%	0,00%		0,00%	0,00%				
G1	1,00%	0,000%		0,00%	0,00%		0,00%	0,00%				
H1	0,00%	0,00%		0,00%	0,00%		0,00%	0,00%				

En la Tabla 2 se detallan los porcentajes ponderados de cada fracción analizada y el porcentaje ponderado total que representan en la muestra. Se puede observar que los constituyentes mayoritarios son los basaltos (litotipos A1, A2 y A3) representando más del 60% del material estudiado; mientras que el resto de las litologías presentes no superan el 5% del total de las muestras.

En la Tabla 3 se resumen los constituyentes potencialmente reactivos observados en cada litología y el porcentaje ponderado que representan en el total de las muestras.

CONCLUSIONES

Del estudio petrográfico de las muestras de los rodados provenientes de la cantera ubicada en el área de estudio del Río Calera es posible concluir que:

- Los agregados naturales son polilitológicos. Se determinaron ocho litologías diferentes: basaltos, riolitas, esquistos, filitas, cuarcitas, areniscas, wackes y calizas.

- En lo que se refiere a las rocas volcánicas, los basaltos y riolitas son las litologías más representativas encontradas. Los basaltos constituyen el tipo de rocas más abundantes de ambos tipos y no se identificaron sustancias potencialmente reactivas frente a la RAS en esta litología. Con respecto a las riolitas se identificó cuarzo microcristalino presente en la matriz, cuarzo microcristalino recristalizado y cuarzo microfracturado como constituyentes potencialmente reactivos.

- En los esquistos y filitas se pudieron reconocer dos componentes potencialmente reactivos: cuarzo microcristalino y cuarzo tensionado y/o microfracturado, ambos de reacción lenta.

- Respecto a las rocas sedimentarias, en las únicas que se observaron constituyentes potencialmente reactivos frente a la RAS son las areniscas rojizas, en las que se determinó la presencia de calcedonia, cuarzo recristalizado y chert en su composición. No se identificaron componentes deletéreos en calizas y wackes.

- En conclusión, los agregados pétreos provenientes del río Calera, presentan, en algunas de sus litologías, diferentes componentes potencialmente reactivos frente a la RAS. A pesar de que las litologías potencialmente reactivas, como riolitas, metamorfitas y areniscas, se encuentran en bajas proporciones, la norma IRAM 1531 (2016) establece que si hay más de un componente reactivo, el agregado debe calificarse como potencialmente reactivo independientemente del porcentaje en que se encuentren dichos componentes

- Además se recomienda realizar los ensayos de barra de mortero (IRAM 1674) y prisma de hormigón (IRAM 1700) para una valoración más certera respecto a la reactividad de estos materiales como agregado para hormigón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Miguel Lillo, institución que financió y proveyó el equipamiento para realizar este estudio. También agradecemos al Dr. Norberto Giannini por facilitarnos acceso a la zona de cantera y a los Dres Silvana Marfil y Francisco Locati por la revisión crítica y valiosa de este manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Aceñolaza F.G y Aceñolaza, G.F. 2005. La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico – Cámbrico Temprano del Noroeste

- Argentino. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12 (2): 67-91. ISSN 1669-7316.
- Alderete, M. 1998. Unidades Fisiográficas. En: Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. Eds. *Geología de Tucumán*, 2° Edición, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán: 29-40, Tucumán.
- Batic O.R. y Sota J.D. 2001. Reacciones deletéreas internas. Durabilidad del Hormigón Estructural. En F. Irassar ed. *AATH*. Capítulo 4. 157 p.
- Bossi, G.E. 1969. Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro. *Acta geológica Lilloana* 10: 17-64.
- Bossi, G.E. y Wampler, M. 1969. Edad del Complejo Alto de las Salinas y Formación El Cadillal según el método K-Ar. *Acta geológica Lilloana* 10: 141-160.
- Coelho dos Santos G., Marfil S. y Maiza P. 2014. Influencia de las características texturales y mineralógicas de la cuarcita Mar del Plata en su comportamiento como agregado en hormigón. Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. *2° Congreso Argentino de Áridos*. Fontana Piatti J., Guerra R., Leggiero J., Patrón Costas E., Ruggiero M. y Carabajal A. Eds, Cámara de La Piedra de la Prov. de Bs. As: 367-378.
- Fava A.S.C., Manuele, R.J., Colina, J.F. y Cortelezzi C.R. 1961. Estudios y experiencias realizadas en el LEMIT sobre la reacción que se produce entre el cemento y los agregados en el hormigón de cemento pórtland. *Revista Técnica LEMIT Serie II N° 85*. 40 p.
- Helmuth R., Stark D., Diamond S. y Moranville-Regourd M. 1993. Alkali-silica reactivity: An overview of research. 105p.
- IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 28 pp, 2016.
- IRAM 1649. Examen petrográfico de agregados para hormigón. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 13 pp, 2008.
- Kagimoto H., Yasuda Y. y Kawamura M. 2016. Effects of expansion behavior of ASR-affected concrete in atmospheres with various values of relative humidity on surface cracking. *15th ICAAR Proceedings*, São Paulo, SP, Brazil. 12 p.
- Milanesi, C A., Pappalardi M y Violini D. 2016. ¿Cómo prevenir la reacción álcali-agregado en los pavimentos de hormigón? Validación del nuevo enfoque propuesto por AASHTO en base a la experiencia argentina para su aplicación en el campo vial. *Memorias XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito*, Rosario, Santa Fe.
- Pérez Marfil, P.; Locati, F., Marfil, S., Lescano, L. y Maiza, P. 2017. Estudio petrográfico de rocas graníticas y migmatitas del sistema de Tandilia utilizados como agregados para hormigón en la provincia de Buenos Aires. *III Congreso Argentino de Áridos*. Córdoba.
- Porto, J.C. 1981. *Geología de las Cumbres del Periquillo, provincia de Tucumán*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tucumán, (inérita), 150 págs. Tucumán.
- Rolleri, E. O. 1976. Sistema de Santa Bárbara: Una nueva provincia geológica Argentina. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, Asociación Geológica Argentina, Bahía Blanca, Argentina.

- Saouma V.E., Martin R.A., Hariri-Ardebili M.A. y Katayama T. 2015. A mathematical model for the kinetics of the alkali-silica chemical reaction. *Cement and Concrete Research* 68: 184-195.
- Stark D. 1991. The moisture condition of field concrete exhibiting alkali-silica reactivity. *Durability of Concrete, Proceedings, Second International Conference, Montreal, Canada 1991*. Detroit: American Concrete Institute, SP126. (2): 973-987.
- Stanton T.E. 1940. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *American Society of Civil Engineers* 66: 1781-1811.
- Stanton T.E. 1942 Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* (107). 54 p.
- Tineo, A.; Fernández, R.; Guerrero, C. y De la Vega, E. 1984. Hidrogeología. En Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán Eds. *Geología de Tucumán*. San Miguel de Tucumán. Capítulo XVII: 155-170.