

# ESTUDIO PETROGRÁFICO DE AGREGADOS BASÁLTICOS PARA USO EN PAVIMENTOS

**Madsen, Lenís<sup>1, 2</sup>; Falcone, Darío<sup>3</sup>; Marfil, Silvina<sup>1, 2</sup>; y  
Maiza, Pedro<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Geología, UNS, San Juan 670, Bahía Blanca. lenis.madsen@uns.edu.ar, smarfil@uns.edu.ar, pmaiza@uns.edu.ar

<sup>2</sup> CGAMA (CIC-UNS), Bahía Blanca. Prov. de Bs. As.

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires (CICPBA). Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, LEMIT. Av. 52 e/121 y 122 s/n, B1900FWA, La Plata, Argentina. durabilidad@lemit.gov.ar

*Palabras claves: basalto, agregado pétreo, pavimentos.*

## Resumen

En el presente trabajo se realizaron estudios petrográficos de rocas basálticas de la región mesopotámica (provincias de Entre Ríos y Corrientes), provenientes del material de acopio (triturado 6-20 mm) de cinco canteras en explotación para determinar su factibilidad de uso en pavimentos.

Se realizaron ensayos petrográficos (IRAM 1649) y ensayos de calidad y estado físico de la roca para agregados gruesos (VN E66 y VN E67, IRAM 1702 e IRAM 1703), poniendo especial énfasis en la presencia de minerales de alteración expansivos y vidrio volcánico.

## 1. Introducción

En la construcción de pavimentos, los agregados gruesos y finos constituyen un elevado porcentaje del total de la mezcla, por esta razón es importante el conocimiento de su mineralogía y estado físico, con el objeto de predecir su comportamiento. En pavimentos asfálticos la diferencia mineralógica, algunas veces puede considerarse importante, pero revisten mayor importancia la petrografía y las propiedades físicas de las rocas (forma, textura, peso específico, absorción, resistencia a la fragmentación por el método Los Ángeles, entre otras) pues son, en gran medida, responsables de la capacidad portante del pavimento del que formarán parte.

En general se utilizan agregados pétreos provenientes de canteras y yacimientos de la región de la obra, pues el costo del transporte de grandes volúmenes define la factibilidad de un proyecto. Por ello, en la zona mesopotámica es común el uso de agregados gruesos provenientes de la trituración de rocas de origen basáltico. El desempeño del material depende de una compleja interacción entre la roca, su variación mineralógica y el estado general del material, condicionando la resistencia mecánica, durabilidad, resistencia al deslizamiento y desprendimiento, entre otros.

Cuando el agregado es utilizado para la elaboración de pavimentos de hormigón, las características petrográficas tienen vital importancia en especial en la identificación de materiales que puedan producir reacciones deletéreas del tipo álcali-sílice (RAS). La norma IRAM 1531 [1] especifica los valores permitidos, considerando un máximo de 5% para cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado o microcristalino (tamaño de grano promedio menor que 62  $\mu\text{m}$ ), 3% para ftanitas, chert o calcedonia, 1% para los polimorfos de la sílice (tridimita o cristobalita), 0,5% para el ópalo y un valor máximo del 3% para vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas.

Los basaltos pueden presentar alteración de los feldespatos, sílice amorfa, minerales arcillosos (principalmente del grupo de las esmectitas) y vidrio volcánico relicto y/o desvitrificado. Esto se refleja en una disminución en la densidad y un incremento en la absorción por parte del agregado, lo cual afecta la susceptibilidad del mismo al contacto con el agua. Por su parte el vidrio volcánico puede contribuir al desarrollo de la RAS [2].

Cuando el agregado es utilizado para la elaboración de pavimentos asfálticos, las normas que analizan el tipo y calidad de la roca de los agregados gruesos (VN-E67-75 [3] y VN-E66-82 [4], IRAM 1702 [5] y 1703 [6]) especifican la identificación de sustancias perjudiciales y partículas deficientes. Dentro de estas últimas se incluyen materiales blandos y semiduros. Se establece que el agregado grueso debe estar formado por partículas de roca fresca (sana) y durable, de forma y tamaño estable y no deberá contener sustancias extrañas, perjudiciales o deficientes estableciendo límites según el tipo de obra, se trate de carpetas asfálticas, tratamiento bituminoso, bases o sub-bases. Los valores máximos oscilan entre 1 y 2 % para materiales perjudiciales, entre 2 y 8 % para materiales blandos y entre 4 y 10 % para semiduros.

También se realiza una clasificación según la petrografía y se dividen en tres tipos: I duro, II muy duro insoluble en agua y III inalterable.

Otros requerimientos están asociados con la forma, la resistencia y la limpieza de los agregados (Por ejemplo: lajosidad, coeficiente de desgaste Los Ángeles, coeficiente de pulimento acelerado, polvo adherido, plasticidad que presenta el material fino, etc.) y varían según el tipo de capa (rodamiento o base). Recientemente se han incorporado requisitos especiales para las rocas basálticas que incluyen una modificación en los valores del coeficiente de desgaste (IRAM 1532) [7], micro Deval (IRAM 1762) [8] y se incorpora el ensayo de ebullición "Sonnenbrand" como obligatorio. En el presente trabajo se estudian las características petrográficas de 5 canteras de basalto de la Mesopotamia argentina. En una segunda etapa, se presentarán las evaluaciones de la potencial reactividad.

## 2. Materiales y métodos

En el presente trabajo se relevaron y muestrearon cinco canteras productoras de agregados basáltico localizadas en las provincias de Corrientes (C1, C3, C4 y C5) (las dos primeras cercanas a la localidades de Curuzú Cuatía y C4 y C5 próximas a Mercedes) y en Entre Ríos, (C2), cercana a Puerto Yerúá (Figura 1).

Se tomaron muestras del triturado 6-20 mm proveniente de los acopios. Se confeccionaron cortes delgados para el estudio petrográfico con microscopio óptico. Para ello se utilizó un microscopio Olympus, trinocular BH-2. Las muestras fueron agrupadas según su ubicación geográfica: A1 (C-2), A2 (C-4 y C-1), y A3 (C-3 y C-5) y analizadas según lo establecido en la norma IRAM 1649 (2008) [9], IRAM 1531 (2016) [10] y la norma de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad e IRAM correspondientes (VN-E66-75 y 67-75 e IRAM 1532, 1702 y 1703) [3, 4, 5, 6].

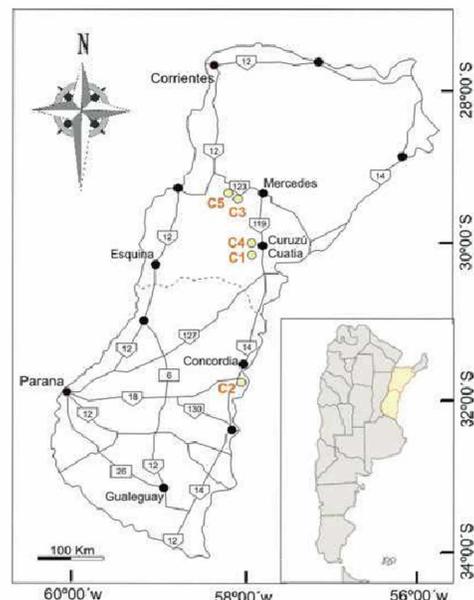


Figura 1: Ubicación de las canteras estudiadas.

### 3. Marco Geológico

El basamento cristalino, de edad precámbrica-paleozoica temprana, forma el sustrato donde se apoyan los depósitos que integran la cuenca Chacoparanaense [11, 12]. El Paleozoico presenta desarrollo de facies continentales, litorales y también marinas y glacimarinas, mientras que en el Mesozoico existen registros de sedimentitas fluviales y eólicas del Triásico al Jurásico Medio. Cubriendo la secuencia se registran basaltos toleíticos del Jurásico Superior a Cretácico Inferior. Entre los que se intercalan depósitos fluviales, de sedimentos marinos y loésicos. Una característica importante de esta cuenca es la sucesión basáltica denominada Formación Serra Geral, integrada por potentes derrames basálticos e interestratificados con sedimentitas clásticas [13]. En Argentina, las areniscas intercaladas fueron denominadas Miembro Solari por Gentili y Rimoldi (1979) [14].

El basalto aflora junto al río Uruguay en el este de Misiones y Corrientes y NE de Entre Ríos. El espesor varía entre 800 y 1000 metros alcanzando los 1930 metros en Brasil [15]. Son basaltos toleíticos con textura dominante de grano fino, mayormente compactos y con tonalidades gris oscura a negra [16].

Marfil et al. (2010) [2] esquematizaron para las coladas explotadas el siguiente modelo: un piso, por lo común de estructura vesicular, de grano muy fino, con asimilación del sustrato, silicificación por precipitación de sílice criptocristalina a partir de aguas circulantes, y litológicamente muy vítreo. En la parte central, el tamaño de los cristales es mayor, la textura es ofítica o subofítica, prácticamente no hay vidrio y la roca es holocristalina. En los niveles superiores de la colada las características litológicas son semejantes a las mencionadas para el sector medio, el desarrollo cristalino es levemente menor, pero los procesos exógenos alteran a las rocas y se desarrolla una textura intersertal con argilización de los minerales originales y del vidrio.

### 4. Resultados y discusión

#### Características petrográficas generales

A nivel macroscópico, la piedra partida 6-20 mm, está constituida por rocas volcánicas masivas, compactas, de grano fino, color gris oscuro, moteadas, con tamaño de grano variable, textura afanítica a microgranular, con sectores porfíricos. Se observaron zonas desferrizadas de formas lenticulares.

Están constituidas por tablillas de plagioclasa y piroxenos en una pasta muy fina parcialmente argilizada. Los sectores oscuros que originan las partes moteadas están constituidos por óxidos de hierro que hacia su periferia se hidratan y argilizan. También, relacionados a estos sitios, se desarrollan núcleos de arcilla que frecuentemente reemplazan a la pasta de la roca.

A nivel microscópico las rocas se clasifican como basalto toleíticos. Están compuestas principalmente por tablillas de plagioclasa (andesina cálcica) maclada, distribuidas sin un alineamiento preferencial y débilmente argilizadas.

Los espacios intercristalinos están ocupados principalmente por pequeños gránulos aglutinados de augita titanífera y minerales opacos. La primera presenta débil cloritización, también es común observar procesos de desferrización que originan hidróxidos de hierro, principalmente goetita.

En los espacios intergranulares es frecuente observar un material criptocristalino, integrado por minerales arcillosos tipo nontronita y/o saponita (montmorillonita férrica y magnesiana respectivamente), cristales aciculares de apatito y óxidos de hierro, generados a partir de la alteración del vidrio volcánico. Son poco frecuentes los sectores con palagonita (vidrio volcánico aún isótropo). La roca incluye xenolitos constituidos por augita y plagioclasa (labradorita) con textura granular gruesa y cristales aislados de plagioclasa y augita parcialmente corroídos. Estos minerales alcanzan el mm, su zona periférica está parcialmente reabsorbida pero su masa aún no se presenta alterada. La textura es intersertal con sectores intergranulares.

#### Petrografía del sector A1

Las rocas de las canteras C-1 y C-4 se encuentran próximas entre sí compartiendo características litológicas comunes como tamaño de grano (menor respecto al resto de canteras estudiadas). El tamaño de los cristales es homogéneo entre las plagioclasas y los minerales máficos, principalmente augita titanífera. Estos varían entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 0,4  $\mu\text{m}$ . Se destaca la presencia de xenolitos constituidos por plagioclasas y piroxenos de textura granular gruesa y cristales aislados de mayor desarrollo que el entorno ( $>1 \mu\text{m}$ ). Los feldespatos se presentan inalterados, con bordes corroídos.

Los interespacios que dejan las tablillas del feldespato están ocupados por vidrio volcánico desvitrificado, aunque se reconocen sectores aún isótropos de colores pardos considerados relictos de la palagonita original (A1: 2%) La mineralogía de estos sectores es: arcilla esmectítica (A1: 9%)

#### Petrografía del sector A2

El agregado de la cantera C-2, presenta la textura más gruesa que los descriptos anteriormente, con cristales que alcanzan los 1,5 mm, tanto en los feldespatos como minerales máficos. Los primeros presentan argilización. No se observaron óxidos de hierro. Se identificaron sectores con abundante contenido de minerales arcillosos, que no guardan relación con el proceso de desvitrificación sino que son productos de alteración de los minerales ferromagnesianos de la roca

El material de la cantera C-3 se destaca por la presencia de fenocristales anhedrales de sanidina muy corroídos periféricamente pero no alterados, alojados entre los fenocristales de plagioclasa relleno de los espacios intercristalinos. Se reconocen escasos piroxenos de buen desarrollo cristalino. La alteración es moderada afectando principalmente a las plagioclasas. Los óxidos de hierro se encuentran distribuidos heterogéneamente. Es abundante el apatito.

El porcentaje de vidrio promedio para el área es de 10% mientras que el contenido de arcilla esmectíticas es de 12%.

## Petrografía del sector A3

El agregado de la cantera C-5 presenta plagioclasas con bordes corroídos y fracturadas cuyos tamaños varían entre 0,2 mm y 0,5 mm, los minerales máficos (augita titanífera principalmente) acompañan la granulometría. En general los piroxenos, se observan maclados, o con intercrecimientos a manera de lamelas, textura "Schiller". Los óxidos de hierro se encuentran localizados y asociados a los minerales opacos.

A pesar de su cercanía geográfica con la cantera C-3, las rocas de esta cantera son de grano más fino y no contienen feldespatos potásicos. En el área el contenido promedio de vidrio es de 4% y el de esmectitas 6%.

En La figura 2 se muestra la textura de los agregados de las tres áreas (A1, A2 y A3), utilizando la misma magnificación en todos los casos, a fin de mostrar las diferencias en el tamaño de grano de los mismos, composición mineralógica y grado de alteración.

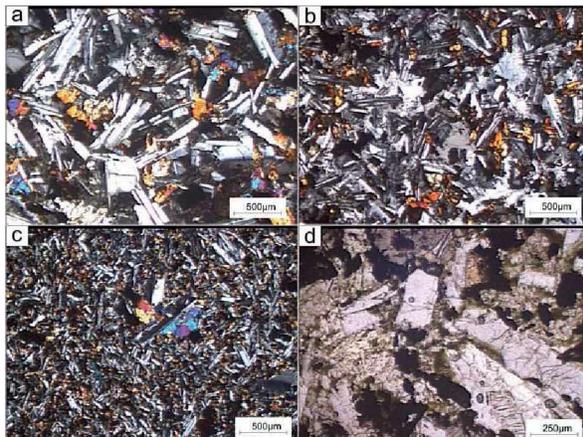


Figura 2: Fotomicrografías de las rocas estudiadas. a- A1 (Puerto Yeruá), b- A3 (Curuzú Cuatiá), c- A2 (Mercedes), d- detalle de mineral arcilloso entre los interespacios de las plagioclasas.

En la tabla 1 se resumen los resultados obtenidos considerando los criterios establecidos en las normas vigentes para uso en pavimentos de hormigón y en mezclas asfálticas. Para definir el grado de alteración se consideraron cuatro categorías en base al contenido de minerales arcillosos (esmectitas) producto de la desvitrificación del vidrio volcánico. Estas son: sin alteración, alteración leve, moderada y severa. Siendo esta última la única en la que se ven afectadas las propiedades físicas de la roca.

Tabla 1: clasificación del material.

S/A: sin alteración; L: leve; M: moderada; S: severa

Muestra	Tipo de roca	Clasificación geológica	Características del material	Material perjudicial/deficiente (%)	Alteración				
					S/A	L	M	S	
C-1	Roca Ignea	Basalto	Muy duro insoluble en agua fresco o con descomposición solo incipiente en grado más avanzado	0		x			
C-2	Roca Ignea	Basalto		0			x		
C-3	Roca Ignea	Basalto		0		x			
C-4	Roca Ignea	Basalto		0		x			
C-5	Roca Ignea	Basalto		0		x			

## Caracterización geotécnica

La caracterización geotécnica de los agregados fue realizada sobre la fracción gruesa, triturado 6-20 mm. La forma y angulosidad de las partículas del árido afecta fundamentalmente al esqueleto mineral del conjunto de agregados. En consecuencia, deben imponerse limitaciones al contenido de partículas con morfología inadecuada. Para la determinación de la morfología se utilizó la norma IRAM 1531 [10] y los criterios sedimentológicos.

Los agregados deben estar libres de material fino, definido como partículas menores a 75 µm, independiente de su uso tanto para la elaboración de mezclas asfálticas u hormigones. Estas partículas pueden generarse durante en el proceso de trituración o por incorporación de suelo. El polvo puede encontrarse separado de las partículas o adherido firmemente. Esta adherencia se incrementa cuando el agregado es de trituración, ya que la superficie es rugosa y suele encontrarse expuesta a la intemperie donde se moja con la lluvia, logrando que la película superficial resulte difícil de desprender durante el mezclado.

Para mezclas asfálticas para carpeta rodamiento y base, la norma VN-E67-75 [4], establece que el contenido de polvo adherido debe ser  $\leq 1,2\%$  y  $\leq 1,5\%$  respectivamente y la relación vía seca - vía húmeda de la fracción que pasa el tamiz IRAM 75µm  $\leq 25\%$  y  $\leq 30\%$  respectivamente. Estos límites son 30% para lajosidad y 3% para contenido de finos cuando el agregado se utiliza para la elaboración de hormigón (IRAM 1531 [10]).

En la Tabla 2 se expresan los valores porcentuales de la forma de partículas y polvo suelto para cada agregado estudiado. De los resultados obtenidos puede observarse que todas las rocas están dentro de los límites para uso en hormigón. Sin embargo para mezclas asfálticas si bien todas cumplen el índice de lajosidad, las muestras C-3, C-4 y C-5 superan levemente el contenido de material fino para mezclas asfálticas (capa de rodamiento) y la C-5 también supera el límite para capa base en este ítem.

Tabla 2: Caracterización geotécnica de la roca: forma de partículas y porcentaje en peso de polvo suelto.

Muestra	Forma de las partículas (%)		Material fino (< 75µm) (% en peso)
	irregulares equidimensionales	planares	
C-1	87	13	1,1
C-2	77	23	1,1
C-3	83	17	1,5
C-4	93	7	1,3
C-5	76	24	1,7

## Ensayos físicos

Los agregados para ser utilizados en la elaboración de hormigón o mezclas asfálticas deben cumplir requisitos físicos establecidos en las normativas o reglamentación. En esta primera etapa del trabajo se evaluaron algunos de los requisitos, en especial se evaluó la resistencia del agregado mediante el ensayo de desgaste "Los Ángeles" (IRAM 1532) [7]. Para mezclas de hormigón el reglamento CIRSOC 201 (2005) [17], establece un límite de 50%

de pérdida para los agregados, independientemente de la clasificación petrográfica. Además estable que si el hormigón va a estar expuesto a abrasión debida al transporte vehicular intenso, como es el caso de los pavimentos dicho límite será del 30%). En cambio para mezclas asfálticas el pliego de Vialidad estable una diferencia según la petrografía (si son o no agregados basálticos), el tipo de capa (rodamiento o base) y el tipo de tránsito (T1, T2, T3 y T4), siendo más crítico para basaltos y capa de rodamiento independiente del tipo de tránsito. Dicho límite se establece en 20% de pérdida. Además, a partir del año 2017, el ensayo de ebullición para basaltos "Sonnenbrand" según la norma (UNE-EM 1367-3) [18] se establece como obligatorio, en los pliegos de Vialidad Nacional. Los resultados obtenidos con este método fueron satisfactorios dado que las rocas analizadas no sufrieron alteración.

De manera complementaria se determinó la densidad y absorción (IRAM 1533) [19] (Tabla 2).

Tabla 2: Ensayos realizados sobre agregados tipo basálticos. S/A: sin alteración.

Área	Coefficiente de desgaste L.A.	Densidad	Absorción (%)	Ensayo de ebullición "Sonnenbrand"
A1	20	2.95	1.5	S/A
A2	13	2.93	1.1	S/A
A3	13	2.98	1.2	S/A

## 5. Conclusiones

- Las rocas analizadas, desde el punto de vista petrográfico cumplen con los requerimientos establecidos en las normas vigentes para uso en pavimentos asfálticos, tanto por su composición mineralógica, grado de alteración y forma. Si bien el contenido de arcillas esmectíticas oscila entre 6% y 12% éstas no afectan las propiedades físicas de la roca. Estos minerales fueron identificados con microscopía óptica sobre secciones delgadas. No se observan perturbaciones a nivel macroscópico. Se considera que no evolucionarán desfavorablemente una vez incluidos en las mezclas asfálticas.

- Las características físicas determinadas de los materiales evaluados permiten calificarlos como aptos para todos los tipos de obra definidos, según los requisitos para agregados gruesos "tipo basaltos"

- Los valores obtenidos por los ensayos "Los Angeles" están dentro de los límites estipulados para rocas basálticas. Si bien las muestras del sector A1 están en el valor límite de desgaste, en el ensayo de ebullición ("sonnenbrand"), utilizado principalmente para rocas volcánicas subsaturadas en sílice (tipo basalto), no presentan alteraciones siendo calificadas como aptas.

- De acuerdo a la experiencia en el comportamiento de agregados basálticos en hormigón, se recomienda realizar ensayos para evaluar la potencial reactividad frente a la RAS, debido a la presencia de vidrio volcánico en todas las rocas evaluadas y determinar la potencial alterabilidad por presencia de arcillas expansivas según norma IRAM 1519:1982.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNS, al LEMIT, y al CGAMA-CIC por el apoyo brindado. A canteras LOSI, PROMIN S.A. y POLAN S.A por habernos permitido el acceso a las canteras y por la excelente disposición y colaboración.

Referencias

[1] IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 28 pp, 2012.

[2] S. Marfil, O. Batic, P. Maiza, L. Grecco, D. Falcone. Comportamiento de rocas basálticas de las Prov. de Corrientes y Entre Ríos frente a la reacción álcali-sílice. VI Congreso Uruguayo de Geología. Parque UTE Lavalleja, Uruguay, 6 pp, 2010.

[3] VN-E67-75. Normas de ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad. Análisis del tipo y calidad de la roca de los agregados gruesos. Exigencias, 216-220, 1975.

[4] VN-E66-82. Normas de ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad. Análisis del tipo y calidad de la roca de los agregados gruesos, 209-219, 1982.

[5] IRAM 1702. Agregados gruesos para uso vial. Método de análisis del estado físico de la roca. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 10 pp, 1981.

[6] IRAM 1703. Agregado grueso para uso vial. Características basadas en el análisis del estado físico de la roca. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 6 pp, 1981.

[7] IRAM 1532 Agregado grueso. Método de ensayo de resistencia al desgaste con la máquina "Los Ángeles". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 16 pp, 2000.

[8] IRAM 1762. Agregados. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados pétreos con el equipo Micro-Deval. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 12 pp, 1981.

[9] IRAM 1649. Examen petrográfico de agregados para hormigón. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 13 pp, 2008.

[10] IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 28 pp, 2016.

[11] J. Montaña, O. Tujchneider, M. Auge, M. Fili, M. Paris, M. D'elia, M. Perez, M., MI Nagy, P. Collazo, P. Decoud. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo argentino-uruguayo. Acuíferos regionales en América Latina. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 217 pp, 1998.

[12] A. Silva Busso. Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 480 pp, 1999.

[13] A. Favetto C. Pomposiello. Modelo geoeléctrico de la cuenca chacoparanense en Santa Fe-Entre Ríos a partir de un estudio magnetoteléctrico. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67(1), 130-138, 2010.

[14] C. Gentili, H. Rimoldi. Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio Geología Regional Argentina, Córdoba, 1, 185-223, 1979.

[15] M. Fili, E. Da Rosa Filho, M. Auge, J. Montañó Xavier, O. Tujchneider, O. El acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur). Instituto Tecnológico Geominero de España. Boletín Geológico y Minero, 109(4), 389-394, 1998.

[16] E. Pezzi, M. Mozetic. Cuencas sedimentarias de la región chacoparanense. Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica, 6, 65-78, 1989.

[17] CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. INTI-CIRSOC, 481 pp. + Apéndices, 2005.

[18] UNE-EN 1367-3. Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 3: Ensayos de ebullición para los basaltos "sonnenbrand", 10 pp, 2001.

[19] IRAM 1533. Agregado grueso. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y la absorción de agua, 12pp, 2002.