



CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS MATERIALES ARCILLOSOS PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIEDRA MAR DEL PLATA. POTENCIAL UTILIZACIÓN COMO ADICIÓN MINERAL

Gabriela S. COELHO DOS SANTOS¹, Damián E. BENITO², Silvina A. MARFIL³,
Pedro J. MAIZA³, Julio L. DEL RÍO⁴

¹Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires (CICPBA).
Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica,
LEMIT. Av. 52e/121 y 122 s/n, B1900FWA, La Plata, Argentina. Cátedra de Geología Aplicada,
Facultad de Cs. Nat. Y Museo, UNLP. Calle 60 s/n, La Plata, Argentina. gabys_geo17@yahoo.com.ar.

²Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, LEMIT;
Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos, LIDMA,
Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. División analítica, calle 47 esq. 115, La Plata (1900), Argentina.

³CGAMA-CIC. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires (CICPBA).
Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Argentina, San Juan 670, Bahía Blanca (B8000ICN).

⁴Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Mar del Plata, Argentina Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario
(IGCyC), C. C. 722. Funes 3350, 7600. Mar del Plata, Argentina.

RESUMEN

La minería de agregados pétreos en el partido de Gral. Pueyrredón (provincia de Buenos Aires), se centra en la explotación de las ortocuarcitas de la Formación Balcarce (piedra Mar del Plata), y en forma secundaria se realiza la extracción de las arcillas que intercalan con los bancos cuarcíticos. Los depósitos arcillosos son de poco espesor, por lo general de 10 a 30 cm, con una extensión areal de metros a decenas de metros, aunque existen verdaderos mantos de 50 cm hasta 1 metro de espesor y cientos de metros de largo. La ciclicidad en las secuencias no está bien definida. En una de las canteras estudiadas, las arcillas se obtienen indirectamente mediante un proceso de lavado del árido cuarcítico, mientras que en el resto de las canteras su extracción no es operativa.

A fin de evaluar el aprovechamiento de las arcillas de las canteras de piedra Mar del Plata para su uso en la industria del cemento, se realizó una caracterización química y mineralógica tanto de arcillas expuestas en los frentes, como de los materiales finos de lavado de composición cuarzo-arcillosa.

Las proporciones de caolinita, illita y cuarzo, así como también las cantidades de alúmina y sílice determinadas en los materiales estudiados, permite considerar su potencial uso como adición mineral en el cemento portland.

Palabras clave: Formación Balcarce, arcillas, puzolanas naturales.

ABSTRACT

Mineralogical characterization of clayey materials from mar del plata stone quarries. potential used as mineral addition. The mining of stone aggregates in the District of Gral. Pueyrredón (province of Buenos Aires), is focuses on the exploitation of quartz sandstone of the Balcarce Formation (Mar del Plata stone) and, in secondary way, of the clays that intercalate with the quartzite banks.

The clay deposits have little thickness, usually between 10 and 30 cm, with an extension from few meters to tens of meters, although there are layers of 50 cm to 1 meter of thickness with extensions of hundreds of meters. Cyclicity in the sequences is not well defined. In one of the quarries studied, the clays are obtained indirectly washing the quartzite aggregate, while in the other quarries this extraction is not operative.

In order to evaluate the use of clays from the stone quarries of Mar del Plata for the cement industry, chemical and mineralogical characterization of the clays from the quarry and from the fine washing materials with quartz-clayey composition were done.

The proportions of kaolinite, illite and quartz, as well as the contents of alumina and silica were determined, allow considering its potential use as mineral addition in Portland cement.

Keywords: Balcarce Formation, clays, natural pozzolana.

INTRODUCCIÓN

La minería de agregados en el partido de Gral. Pueyrredón, se establece en la zona urbana y peri-urbana de Batán-Chapadmalal entre 1920 y 1930. La minería principal se centra en la explotación de las ortocuarcitas de la Formación Balcarce, y a partir de 1930 se inicia la actividad extractiva de las arcillas en cantera Cerámica del Plata (del Río *et al.* 2015). De 21 canteras existentes en la zona, 14 se ubican en Batán-Chapadmalal (Ceppi Cabrera 1964, Angelelli *et al.* 1973), actualmente la mayoría se encuentran inactivas.

Las capas de arcilla intercalan en forma subordinada con bancos potentes de ortocuarcita (Dalla Salda e Iñiguez Rodríguez 1979; Cingolani 2011), y se desarrollan en estratos lenticulares de entre 10 y 30 cm de espesor (Fig. 1A) hasta 1m (Fig. 1B, C y D). Su continuidad lateral varía desde pocos metros a decenas de metros, aunque en algunos casos, como en cantera Minera, pueden extenderse cientos de metros a lo largo de los frentes (Fig. 1D). Los estratos de arcilla poseen una laminación poco marcada, aunque en algunos casos pueden distinguirse intercalaciones de láminas delgadas de arcilla y limo. Las capas más potentes se hallan en cantera La Cerámica, en donde la arcilla se recuperaba hasta fines de los 80' como material de explotación principal. En cantera Minera, hacia el tope del banco inferior de explotación, se desarrolla un extenso manto de arcilla de 1m de espesor aunque las intercalaciones de capas arcillosas y cuarcíticas no se destacan por ser repetitivas en vertical, pudiendo aparecer bancos de arcilla cada 2, 5 o 10 metros, aunque estas tienden a ser más importantes hacia el tope de los afloramientos. Los estratos arcillosos son de coloración blanquecina a verdosa, y amarillenta, siendo mayormente empleados para uso cerámico (Zalba *et al.* 2010, 2016). Las arcillas también pueden ser recuperadas como producto secundario de lavado del árido cuarcítico (Forte *et al.* 2014) utilizado en la construcción de obras civiles (Coelho dos Santos *et al.* 2014).

Estudios de Iñiguez Rodríguez y Zalba (1974, 1988) determinaron las proporciones de los tipos de arcillas presentes en Batán-Chapadmalal. Identificaron en el yacimiento Los Curros (La Florida), 70% caolinita, 20% illita + interestratificado illita/esmectita (I/S), 3% esmectita y 7% cuarzo, y en la cantera Dofeudo 90% caolinita, 5% illita+I/S, 2% esmectita y 3% cuarzo (Zalba *et al.* 2016).

Trabajos mineralógicos sobre arcillas de La Formación Balcarce también fueron realizados por diversos autores, los cuales interpretaron el origen de estos materiales (Dristas y Frisicale 1987, 1996, Domínguez y Silleta 2002) y contemplaron sus usos y aplicaciones (Domínguez y Schalamuk 1999; Domínguez y Ullman 2005).

Por otra parte, a partir del lavado de agregados cuarcíticos en una planta de lavado instalada en el yacimiento Minera (Batán), se obtienen materiales finos de granulometría inferior a 62 μm (del Río *et al.* 2008). Forte *et al.* (2014) determinaron en la fracción menor a 2 μm 65% caolinita, 25% illita, 3% I/S y 7% cuarzo.

Entre 1960 y 1970, Batic *et al.* (1971), Angelelli *et al.* (1973), Iñiguez Rodríguez y Zalba (1974), entre otros, iniciaron estudios mineralógicos-tecnológicos sobre arcillas desde la zona de Olavarría a la zona de Batán-Chapadmalal, a fin de evaluar su aptitud como puzolana para la elaboración de cementos especiales. Trabajos recientes referidos al uso de arcillas de la zona de Olavarría como puzolana natural, evalúan la aptitud tecnológica de halloysitas e illitas calcinadas (Tironi *et al.* 2016, Trezza *et al.* 2016). Estos materiales deben sufrir una activación térmica mediante calcinación, la cual le confiere propiedades puzolánicas. En el caso del caolín, el producto final se denomina metacaolín. Como material puzolánico adicionado al cemento, la alúmina y sílice amorfa del metacaolín reaccionan con el calcio libre para producir aluminosilicatos de calcio que aumentan la resistencia en hormigones elaborados con estos cementos (Murray 2007).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la potencial utilidad de los materiales arcillosos naturales y de los sub-productos del lavado de cuarcitas procedentes del área de Batán-Chapadmalal como adición mineral en la confección de cementos especiales, a partir de análisis químicos y mineralógicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo el muestro aleatorio de arcillas en 3 frentes de canteras del área de Batán-Chapadmalal. En una de ellas además se recolectaron muestras de un material fangoso de granulometría limo-arcillosa procedente del lavado mecanizado del árido cuarcítico.

El análisis petrográfico de las arcillas se realizó con un microscopio óptico Olympus, BH2-UMA, sobre secciones delgadas de 30 μm de espesor. Para los análisis

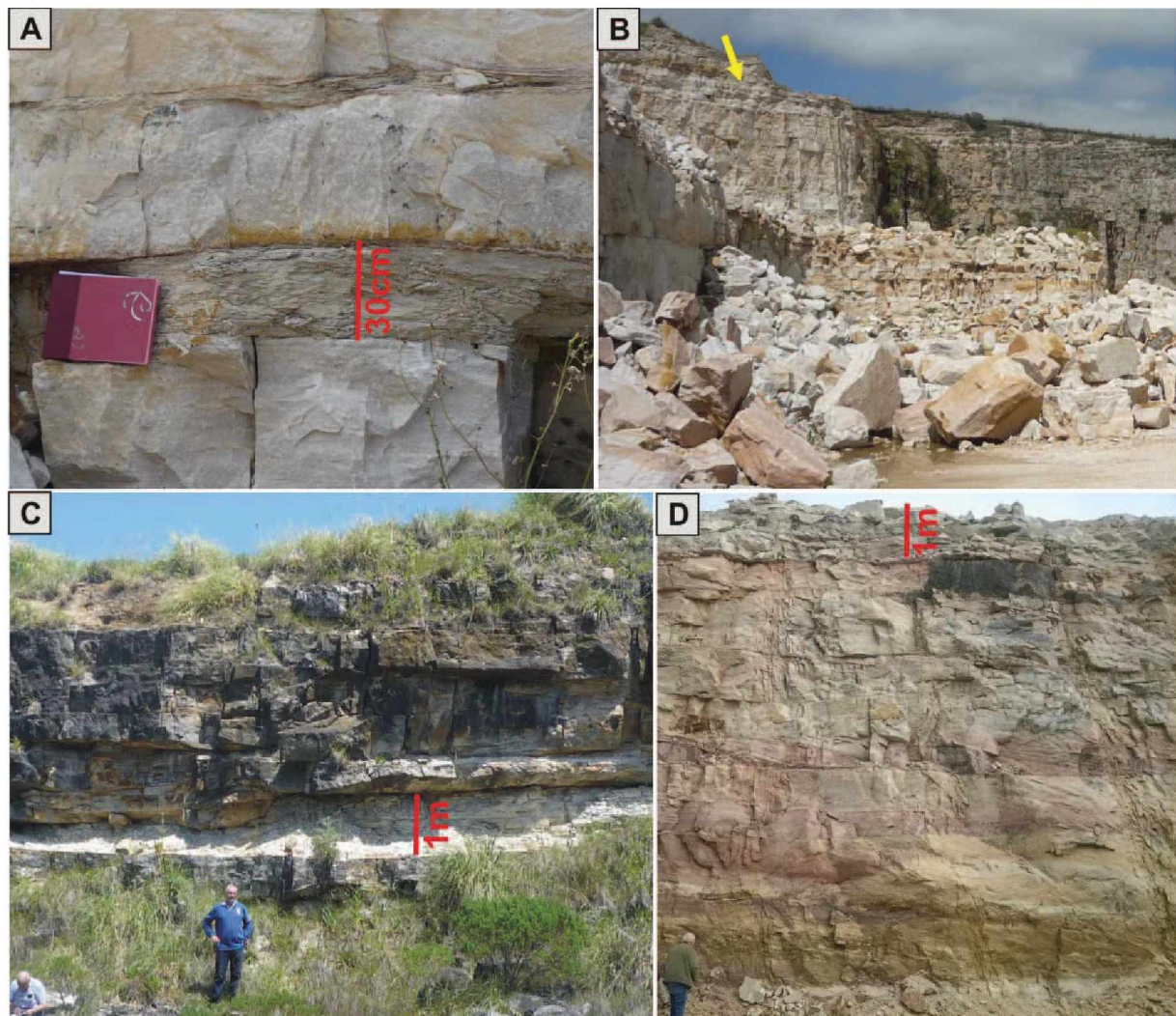


Figura 1: Canteras de Batán-Chapadmalal. A-B: La Florida. A, estrato arcilloso de 30 cm de espesor entre bancos cuarcíticos, y B, hacia el tope se identifica una capa arcillosa de importante continuidad lateral. C: Cantera La Cerámica. Se destaca un estrato lenticular de arcilla de 1 m de espesor máximo. D: Cantera Minera. Manto de arcilla de 1 m de espesor que corona el tope de un frente de explotación de 10 metros de altura.

químicos mediante FRX, mineralógicos (petrografía, DRX y MEB) y térmicos (DSC-TGA), tanto las muestras tomadas en frente como de las del residuo de lavado fueron sometidas a un proceso de molienda y/o tamizado. El fino de lavado, se obtuvo como una muestra de lodo (húmedo), que luego de secada al aire, fue molida en un molino de bolas durante quince minutos, obteniéndose un material de granulometría inferior a 75 μ m.

RESULTADOS

Petrografía

La muestra de cantera La Florida corresponde a una fangolita constituida por franjas de cuarzo anguloso menor a 100 μ m y escamas de muscovita (Fig.2A y B) que

intercalan con bandas arcillosas de caolinita+illita y cuarzo muy fino (Fig.2C); la muestra de cantera Minera corresponde a una arcillita compuesta por una matriz arcillosa de caolinita+illita, la cual engloba granos de cuarzo anguloso de tamaño inferior a 100 μ m, clastos de muscovita con bordes alterados, turmalina, titanita, etc. (Fig.2D-F). En ambas muestras se observa la presencia de granos minerales opacos e impurezas de óxidos de hierro. La muestra de cantera La Cerámica es una arcillita similar a la de Minera pero posee un patrón de laminación arcilla-cuarzo más marcado, predominando la arcilla sobre el cuarzo.



Figura 2: Fotomicrografías A-C, fangolita de La Florida, con mayor contenido de cuarzo y muscovita que la arcillita de Minerera D-F, la fracción arcilla fina engloba granos de cuarzo dispersos. A y D, con polarizadores paralelos; B-C-E-F polarizadores cruzados. Qz: cuarzo, Op: opacos, Kln: caolinita, illt: illita, Msc: muscovita.

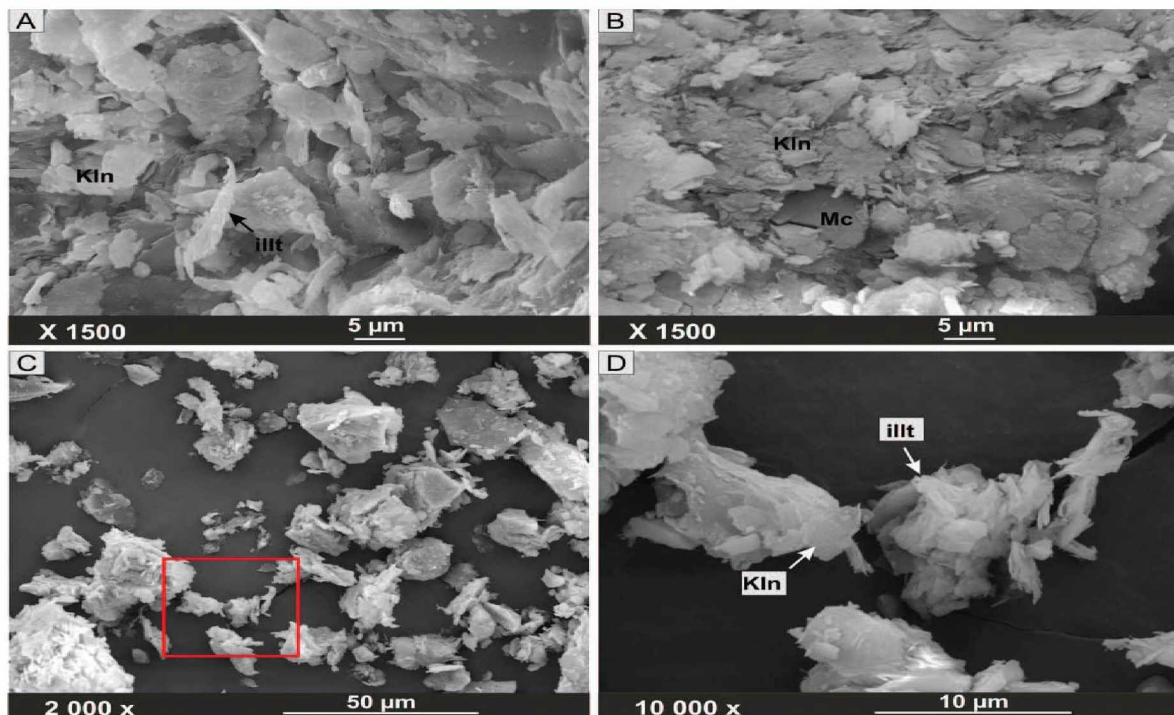


Figura 3: Imágenes de MEB. A, caolinita "face to face" e illita hojosa (cantera La Florida); B, caolinita con morfología "face to face" (cantera Minerera). C, morfología y modo de agregación del material fino de lavado del yacimiento Minerera, y D, detalle de C, partículas agregadas de caolinita-illita. Kln: caolinita, illt: illita.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX), MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO-ESPECTROMETRÍA DE ENERGÍA DISPERSIVA DE RAYOS-X (MEB-EDX)

En los análisis de DRX realizados tanto en muestras de arcillas pasante tamiz 125µm como en el residuo de lavado de igual granulometría, se identificaron caolinita, illita y cuarzo, siendo la caolinita el principal mineral de arcilla.

En las arcillas tomadas de los frentes de cantera se identificó mediante MEB, caolinita de morfología “face to face” y en menor medida láminas alargadas de illita (Fig. 3A y B), además de cuarzo anguloso y paquetes de muscovita. El tamaño de las partículas de arcilla es va-

riable, pero predominan las menores de 10 µm, aunque la illita desarrolla morfología escamosa u hojosa, de largo mayor a 10 µm. Por otro lado, el material fino de lavado menor a 75µm, está conformado por cuarzo de bordes angulosos y agregados de caolinita e illita (Fig. 3C y D). Los espectros correspondientes a los EDX muestran alto contenido de Si y Al, y en menor medida Ti, K, además de otros álcalis.

Análisis químico

El análisis químico se realizó mediante fluorescencia de rayos X (FRX), sobre fangolitas arcillitas tomadas en afloramientos de cantera y sobre el material fino del lavado de las rocas cuarcíticas trituradas. En la tabla 1 se incluyen los resultados obtenidos.

Tabla 1: Análisis químico mediante FRX de arcillas tamiz pasa 125µm y del fino de lavado de granulometría inferior a 75µm.

% en peso	Yacimiento La Florida	Yacimiento La Cerámica	Yacimiento Minera	Fino de lavado Minera
SiO ₂	52,32	61,50	50,27	74.18
Al ₂ O ₃	30,84	24,10	31,34	15.95
Fe ₂ O ₃	1,91	0,91	3,01	0.76
TiO ₂	1,87	0,71	0,81	0.42
CaO	0,205	0,38	0,35	0.34
K ₂ O	3,79	3,00	4,46	1.62
MgO	1,99	2,40	2,78	1.46

Tabla 2: Resultados de las determinaciones de densidad (método del picnómetro) y de las pérdidas de peso por calcinación por método gravimétrico con mufla (1) y por DSC-TGA (2); en la segunda columna se muestra la temperatura del pico endotérmico principal que se asocia a la deshidroxilación de caolinita y conversión a metacaolinita.

Yacimiento	Densidad (g/cm ³)	Pérdida de peso por calcinación	DSC-TGA	
			Pérdida de peso (%)	Pico endotérmico Principal(°C)
Minera	2,60	10,55	10,87	525
La Florida	2,63	9,02	9,51	524
La Cerámica	2,61	7,10	7,78	516
Minera (fino de lavado)	2,63	4,04	3,97	545

Densidad y pérdida de peso

Se determinó la densidad por el método del picnómetro y la pérdida de peso por calcinación mediante dos métodos, calcinado con mufla y pesado con balanza analítica, y mediante el análisis térmico diferencial (DSC-TGA), para lo que se utilizó un equipo Universal V4.5A TA, SDT Q600 V20.

CONCLUSIONES

La continuidad lateral de las capas arcillosas en los

frentes de cantera es variable, siendo destacable en cantera Minera, donde uno de los mantos que corona uno de los frentes posee cientos de metros de extensión, manteniendo un espesor constante de 1m. Por otro lado, también hallamos bancos de características y potencia importante en cantera La Cerámica.

Tanto las arcillitas tomadas de bancos pelíticos en las canteras como el fino de lavado de cantera Minera, muestran una composición química y mineralógica propicia para su uso como adición mineral (puzolana). Los resultados del análisis químico muestran que el contenido de sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃) de las arcillitas es

elevado, lo cual hace que estos materiales sean potencialmente aptos para la producción de metacaolín.

Por otra parte, los finos de lavado poseen mayor % de sílice y menos % de alúmina, pero su obtención es más fácil que la extracción de arcillas presentes entre los bancos de cuarcita, por lo tanto el aprovechamiento del fino como adición mineral es actualmente mucho más viable. A su vez, la utilización de los sub-productos de lavado de agregados cuarcíticos contribuiría a minimizar el impacto ambiental generado por estos residuos y las demandas energéticas requeridas para la elaboración del cemento, así como también la reducción en la emanación de gases invernadero.

AGRADECIMIENTOS

A canteras Yarvı por la predisposición y colaboración en el avance de las investigaciones llevadas a cabo en la zona. Al Departamento de Geología y laboratorio de petrología de la Universidad Nacional del Sur, al área de Ligantes Hidráulicos y Adiciones Minerales del LEMIT y a la CIC-CGAMA por el apoyo brindado.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V., Villa, J., Suriano, J. 1973. Recursos minerales y rocas de aplicación de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, ANALES 2-1973, Serie II, 235: 53-77.
- Ceppi Cabrera, H. 1964. Estudio geológico-económico del área minera del partido de General Pueyrredón, Prov. de Buenos Aires. M.O.P., Provincia de Buenos Aires (Inédito).
- Batic, O., Iñiguez Rodríguez, A., Wainsztein, M. 1971. Puzolanas artificiales obtenidas por tratamiento térmico de arcillas de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, ANALES 2-1971, Serie II, 179: 1-20.
- Cingolani, C. 2011. The Tandilia system of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview International Journal of Earth Sciences. Vol. 100, 2-3: 221-242.
- Coelho dos Santos, G, Marfil S., Maiza P. 2014. Influencia de las características texturales y mineralógicas de la cuarcita Mar del Plata en su comportamiento como agregado en hormigón. 2º Congreso Argentino de Áridos. Los áridos son mucho más que piedras, Fontana Piatti, J., Guerra, R., Leggiero, Patrón Costas, E., Ruggiero, M., Carabajal, A.L. (Ed.), Cámara de La Piedra de la Prov. de Bs.As., I: 367-378.
- Dalla Salda L., Iñiguez Rodríguez A. 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. VII Congreso Geológico Argentino (Neuquén, 1979), Acta I: 539-550.
- del Río, J.L., Bó, M., Goyeneche, H., Burmeister, M., Mastropasqua, P., Camino, M. 2015. Estrategias para la valorización y rehabilitación del patrimonio minero de Batán-Chapadmalal, Mar del Plata, Argentina. Revista de Geológica Aplicada a la Ing. y al Ambiente 35: 35-44.
- del Río, J.L., Samperio, E., Ruggiero, M., Fernández, M., Macías, P., Osterrieth, M., Monclá, S., Cordeu, A., Cacopardo, F., Grethe, R., Iacono, J. 2008. Cerámica Chapadmalal, un proyecto de transformación de un pasivo ambiental en un activo social. Primer Congreso Argentino de Áridos. Los áridos como factor de desarrollo, Fontana Piatti, J., Leggiero, E., Patrón Costas (Ed.), Cámara de La Piedra, I: 223-229.
- Domínguez, E. y Silleta, A. 2002. Los elementos traza, las tierras raras e isótopos estables en la determinación de la génesis de caolinita: El caso del yacimiento Loma del Piojo, Prov. de Buenos Aires. Argentina. Mineralogía y Metalogénea, Brodtkorb, M., Koukharsky, M., Leal, P. (Ed.), Buenos Aires, 127-134.
- Domínguez, E. y Schalamuk, I. 1999. Recursos minerales de las Sierras Septentrionales, Buenos Aires. Recursos Minerales de la Rep. Argentina, Zappettini, E. (Ed), SEGEMAR, Anales, vol 35: 183-190.
- Domínguez, E. y Ullman, R. 2005. Arcillas e industria cerámica. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M., Llambías, E. (Ed), Asoc. Geológica Argentina, Buenos Aires, 397-408.
- Dristas, J.A. y Frisicale, M.C. 1987. Rocas piroclásticas en el sector sudoeste de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc Min Petrol. Sedim 18(1-4):33-45.
- Dristas, J. y Frisicale, M. 1996. Geochemistry of an altered pyroclastic suite interbedded in the sedimentary cover of the Tandilia area, Buenos Aires Province, Argentina. Zbl. Geol. Paleont., Stuttgart, Teil I, H. 7/8, 659-675.
- Forte, L., Etcheverry, R., Garrido, L., del Río, J.L., Hurtado, M., Cuyoupetrou, L., Rolny, C. 2014. Evaluación de las propiedades cerámicas de sub-productos sólidos de explotaciones de rocas de aplicación. 2º Congreso Argentino de Áridos. Los áridos son mucho más que piedras, Fontana Piatti, J., Guerra, R., Leggiero, Patrón Costas, E., Ruggiero, M., Carabajal, A. (Ed.), Cámara de La Piedra de la Prov. de Bs. As., II: 535-545.
- Iñiguez Rodríguez, A.M. y Zalba, P.E. 1974. Geología de arcillas refractarias de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXIX, 3: 304-310.
- Iñiguez Rodríguez, A.M. y Zalba, P.E. 1988. Arcillas, su distribución, características y aplicaciones en Argentina. Revista Panorama Minero, 125: 4-17.
- Murray, H. 2007. Applied clay mineralogy. Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays. Elsevier, First edition, 2007. 180 p.
- Tironi, A., Cravero, F., Maggi, J., Scian, A.N., Irassar, E.F. 2016. Utilización de arcillas con elevado contenido de halloysita como puzolanas. VIICong.Int.y21ª Reunión Téc. AATH, Ing. Nélida Castría. 545-552.
- Trezza, M., Tironi, A., Irassar, E. 2016. Estabilidad térmica y actividad puzolánica de una arcillita illítica. VII Congreso Internacional y 21ª Reunión Téc. AATH, Ing. Nélida Castría. 505-512.
- Zalba, P., Morosi, M., Conconi, M., Segovia, L. 2010. Arcillas de Tandilia. Geología, mineralogía y propiedades tecnológicas. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. De Bs. As., Ied, Universitaria de La Plata, 2010. 168 p.
- Zalba, P., Morosi, M., Conconi, M. 2016. Gondwana Industrial Clays Tandilia System, Argentina: Geology and Applications. Springer Earth System Sciences, Blondel, P., Guillard, E., Rabassa, J., Horwood, C., (Ed), 2016. 168 p.