

ESTUDIO MINERALÓGICO DEL DEPÓSITO DE CAOLÍN MARÍA EUGENIA, TANDILIA, ARGENTINA

[Mineralogical study of the deposit of kaolin María Eugenia, Tandilia, Argentina]

María Laura DELGADO*

María Eugenia RODRÍGUEZ**

Mario TESSONE*

Ricardo ETCHEVERRY*,**

(*) Instituto de Recursos Minerales (INREMI). Universidad Nacional de La Plata, c. 64, n.º 3. La Plata, Buenos Aires, Argentina. Correo-e: ldelgado@fcnym.unlp.edu.ar; rodriguezmariaeugenia@hotmail.com; mtessone@inremi.unlp.edu.ar; retche@inremi.unlp.edu.ar

(**) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

(FECHA DE RECEPCIÓN: 2011-10-20) (FECHA DE ADMISIÓN: 2011-12-20)

BIBLID [0211-8327 (2011) 47 (2); 195-205]

RESUMEN: Los depósitos de arcillas de la provincia de Buenos Aires se emplazan principalmente en diversas unidades estratigráficas de las Sierras Septentrionales o Sistema de Tandilia. La presente contribución es para aportar al conocimiento geológico y mineralogénico de las arcillas caoliníticas de la Sierra del Volcán, partido de Balcarce, las cuales fueron antiguamente explotadas en la mina "María Eugenia". La aplicación de técnicas modernas como Espectroscopía de Reflectancia SD Field Spec Pro™, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y la utilización del software Xpowder para la interpretación de los difractogramas de rayos X permitieron reconocer dentro del depósito mineral sectores con diversos grados de argilización. El más destacado (oeste) presenta una asociación de caolinita de alta cristalinidad + illita 2M1 junto con el desarrollo de una textura densa de sus individuos, que nos conduce a pensar en un origen a partir de *fluidos hidrotermales* para dicha especie mineral; subordinadamente se reconoció la variedad de caolinita de baja cristalinidad, la cual se encuentra asociada a goethita y desarrolla una textura menos densa, por lo que se atribuye un origen supergénico.

La presencia de sulfuros y vetillas de cuarzo atravesando las rocas del Complejo Buenos Aires, identificados también en el sector oeste del depósito, es evidencia

del pasaje de fluidos, los cuales podrían ser los responsables de la alteración argílica desarrollada sobre rocas del basamento.

Palabras clave: Caolín, hidrotermalismo, alteración argílica, Tandilia, Argentina.

ABSTRACT: Clay deposits in Buenos Aires province are located in different stratigraphic units of the Sierras Septentrionales or the Tandilia system. The present contribution is focused in the geological and mineralogic knowledge of the kaolinitic clays from the Sierra del Volcán, Balcarce, which were formerly operated in the "María Eugenia"-mine. The application of modern techniques such as Reflectance Spectroscopy SD Field Spec Pro™, Scanning Electron Microscopy (SEM) and the use of XPowder software for interpretation of X-ray diffractions patterns, allowed recognize different sectors within the mineral deposit with varying degrees of argilization. The most outstanding (west) has identify the association kaolinite of high crystallinity + illite 2M1 along with the development of a dense texture of the crystals, indicate a hydrothermal origin for the kaolinite, has detected subordinately kaolinite variety of low crystallinity is associated with goethite and develops a less dense texture indicating a supergene origin.

The presence of sulfides and quartz veinlets cross-cutting the Buenos Aires Complex rocks, recognize in west area, are evidence of fluid flow through this rocks, and could be the responsible for the argilic alteration developed on the rocks of basement.

Key works: Kaolin, hydrothermalism, argilic alteration, Tandilia, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los depósitos de arcillas representan uno de los recursos minerales más importantes de la provincia de Buenos Aires. Los mismos se encuentran alojados, esencialmente, en tres grandes entidades estratigráficas: a) parte superior alterada del Basamento ígneo-metamórfico (Precámbrico), b) secuencia sedimentaria proterozoica-paleozoica inferior y c) niveles sedimentarios cuaternarios (principalmente Formación Pampeano y suelos recientes); las dos primeras en el ámbito de las Sierras Septentrionales de Buenos Aires o Sistema de Tandilia, y la última, de amplia distribución territorial.

Los antecedentes de los estudios geológicos sobre la zona de trabajo y los materiales presentes en la misma comienzan con SCHILLER (1938) y posteriormente prosiguen con ANGELELLI (1945), DI PAOLA & GARCÍA ESPIASSE (1986) y ANGELELLI & GARRIDO (1988). Estos autores atribuyen preliminarmente el origen de los caolines a soluciones hidrotermales que alteraron los feldespatos originales, a partir de la circulación de posibles soluciones termales a través de una falla que separa las rocas basamentales de las *cuarcitas* de Balcarce.

El presente trabajo tiene por finalidad contribuir al conocimiento mineralógico y geológico-genético de la *arcillas caoliníticas* presentes en la zona de

la Sierra de Volcán, partido de Balcarce. El objetivo principal consiste en alcanzar una adecuada caracterización de la asociación mineral, ya que en la actualidad existen tecnologías modernas que permiten hacerlo, para así poder llegar a determinar el ambiente de formación de caolines con mayor precisión. Así como establecer guías de exploración que permitan realizar nuevos descubrimientos.

METODOLOGÍA

Se realizó un reconocimiento geológico del área, así como un muestreo de detalle sobre las litologías y alteraciones presentes en la cantera, sobre las cuales se hicieron estudios petro-calcográficos [para su anotación se siguen las abreviaturas propuestas por KRETZ (1983) y análisis de difracción de Rayos X (DRX) con un equipo Philips PW 3710 sin monocromador con tubo de Cu, interpretándose los diagramas con el software X Powder versión 2010.01.02].

También, se utilizó Espectroscopía de Reflectancia *SD Field Spec ProTM* que emplea la región del espectro electromagnético del infrarrojo de onda corta para reconocer minerales de alteración. Muestras seleccionadas fueron analizadas por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) en el Laboratorio de Investigación de Metalurgia Física de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, el instrumental empleado fue un equipo FEI modelo Quanta 200, en la modalidad bajo vacío con un detector LFD (Large Field Detector).

GEOLOGÍA REGIONAL

Las Sierras Septentrionales de Buenos Aires constituyen una unidad morfoestructural significativa del país, ya que es la región que presenta los afloramientos más australes del Cratón del Río de La Plata. Se caracteriza por su antigüedad, variabilidad de sus rocas ígneo-metamórficas y por la existencia de una cubierta sedimentaria precámbrica-paleozoica inferior que evidencia su estabilidad por un largo período de tiempo.

En cuanto al estado del conocimiento geológico, es de destacar que existen investigaciones generales en relación con los procesos tectono-magmáticos y sedimentarios sucedidos entre el Proterozoico medio-superior y el Paleozoico inferior. Entre ellos, cabe citar a DI PAOLA & MARCHESI (1974) quienes describen el basamento ígneo-metamórfico (Complejo Buenos Aires) sobre el cual se depositaron el Grupo Sierras Bayas (POIRE & SPALLETI, 2005) de edad neoproterozoica y la Formación Balcarce (AMOS *et al.*, 1972; DALLA SALDA & ÍÑIGUEZ, 1979), asignada al Ordovícico.

El basamento de esta región está constituido por gneises, granulitas félsicas y máficas (GONZÁLEZ & CABANA, 2006). Su historia ha sido interpretada por estos autores, en la cercana Sierra de Bachicha, a través del reconocimiento de cuatro episodios de metamorfismo regional: M_1 indicado por facies

de granulita de presión media; M_2 facies anfibolita alta-granulita, dentro de gneises bandeados y granulitas félsicas; M_3 como un metamorfismo retrógrado en facies anfibolita baja en anfibolitas, gneises y granulitas félsicas, y M_4 en facies prhenita-pumpellita, que reemplaza a las asociaciones M_1 a M_3 en todas las rocas citadas.

Todo el paquete sedimentario (Formación Balcarce) se depositó en una cuenca de plataforma desarrollada sobre el basamento cristalino luego que fuese elevado por procesos tectónicos y peneplanizado (ÍÑIGUEZ *et al.*, 1989). La peneplanización tuvo lugar durante el Cámbrico, al mismo tiempo que la subsidencia del basamento. Durante el Cenozoico la reactivación de fallas produjo nuevos ascensos y descensos de bloques, y por ende la generación de un relieve suave (fig. 1).

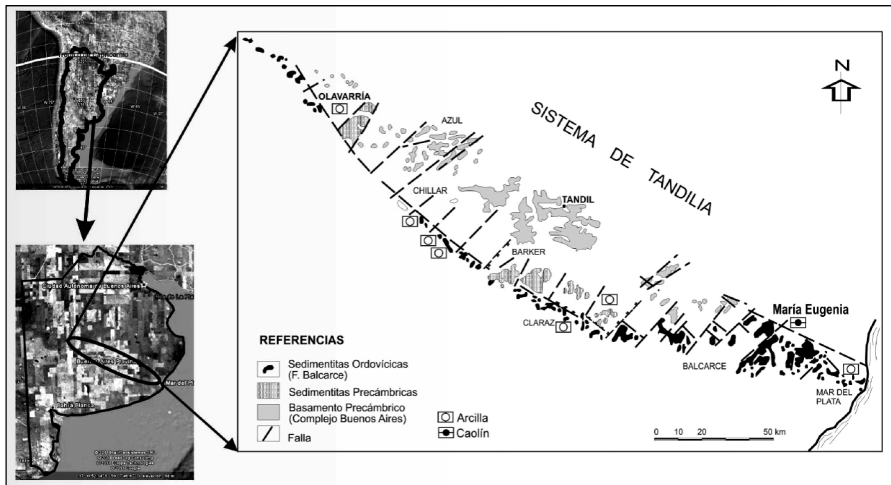


Figura 1. Ubicación del sector de estudio. Mapas de República Argentina, Provincia de Buenos Aires y Geológico de las Sierras Septentrionales (simplificado de ÍÑIGUEZ *et al.*, 1989).

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Sierra del Volcán se emplaza aproximadamente en el kilómetro 47,5 de la ruta provincial n.º 226, y es en este sector donde se localiza la Mina "María Eugenia" ($37^{\circ}51'40''S-58^{\circ}03'47''O$, fig. 2) que fue explotada por caolín hasta fines de la década del '70 del siglo pasado.

En la parte cuspidal de la Sierra se reconocen areniscas cuarcíticas asignadas a la Formación Balcarce, integrada por una sucesión sedimentaria silico-clástica subhorizontal, que le otorga una morfología tabular. Está compuesta por arenitas y sabulitas cuarzosas con capas entrecruzadas, subordinadamente aparecen intercalaciones pelíticas lentiformes de hasta 1 m de espesor. Contiene una abundante asociación de trazas fósiles.

Antiguas labores desarrolladas para la explotación de caolín tienen una extensión aproximada de 150 m de largo por 60 m de ancho. Allí se puede observar que la roca del basamento presenta diversos grados de caolinización. En el sector este de la labor se conserva una foliación (E-O), la cual es atravesada por vetillas de cuarzo. Mientras que en la parte oeste de la cantera se observa la estructura del basamento obliterada por la alteración caolínica y solo es posible reconocer la foliación en reducidos sectores. Es para destacar, en esta zona, la presencia de oxi-hidróxidos de hierro vinculados con vetillas de cuarzo-caolín (fig. 3).

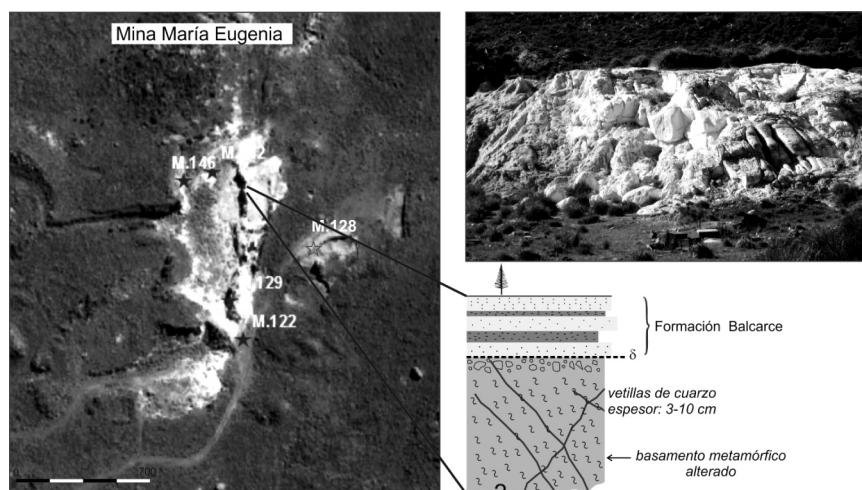


Figura 2. Imagen Google Earth de "Mina María Eugenia" en la Sierra del Volcán. Fotografía de la cantera y perfil esquemático expuesto.



Figura 3. Fotografías de los afloramientos en la cantera María Eugenia. Izquierda: detalle de vetilla de cuarzo con oxi-hidróxidos de hierro en el basamento alterado, sector oeste. Derecha: vetillas de cuarzo cortando a la foliación del basamento, sector este.

MINERALOGÍA

Sobre la base de los estudios realizados se estableció que la roca original, sobre la que se producen los procesos de alteración, corresponde a un gneis anfibólico. De acuerdo a GONZÁLEZ *et al.* (2007) es asignable a facies de anfibolita (M_3) seguida por metamorfismo retrógrado en facies phrenita-pumpeilita. Se reconocieron distintos tipos y grados de alteración en las rocas presentes en la propiedad minera.

En el sector *Este*, la foliación de la roca está dada por una alternancia de bandas de minerales claros y oscuros (fig. 4a). Sobre la base de estudios petro-calcográficos de muestras seleccionadas, se identificó la siguiente paragénesis mineral: $qz + pl + fsp-ser + ap + hbl-cbl$ integrando las bandas claras; mientras que las oscuras están compuestas por sulfuros + óxidos idiomorfos hipogénicos: $ccp + py + gl + mag + ilm$ y minerales supergénicos: $hem + cv$, los cuales presentan típicas texturas de reemplazo.

Es de destacar que las cloritas se encuentran reemplazando a hornblenda y la sericita como alteración de feldespatos potásicos y plagioclasas (fig. 4b y c).

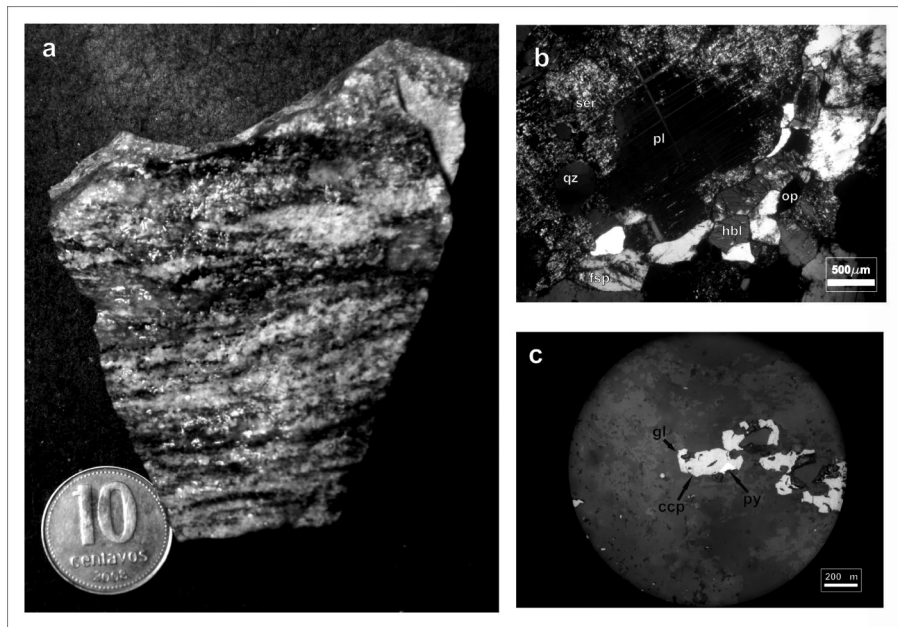


Figura 4. a) fotografía de muestra mesoscópica del basamento del sector, nótese la presencia de bandeamiento composicional; b) fotomicrografía petrográfica donde se reconoce la asociación $hbl + pl + qz + op$, con analizador; c) fotomicrografía calcográfica donde se identifican $ccp + py + gl + mag$ (Abreviaturas de KRETZ, 1983).

En el sector *Oeste*, se observa una manifiesta alteración argílica. Los minerales reconocidos fueron: caolinita y esmectita-illita. La primera especie con dos variedades: una de alta cristalinidad y otra de baja (reconocidas por espectroscopía de reflectancia), cabe aclarar que la variedad de bajo orden cristalino se presenta asociada a goethita (fig. 5).

La caolinita de alta cristalinidad se asocia a illita 2M1 (identificada por DRX-fig. 6) y a venulaciones y vetillas de cuarzo de 3 a 10 cm de espesor. Analizando los arreglos texturales, se observa que los agregados de caolinita desarrollan una textura densa, apretada y formada por pequeños cristales (fig. 7a).

Mientras que la de baja cristalinidad, generalmente, se asocia a goethita y desarrolla texturas menos densas, con individuos formando paquetes de libros de caolinita (fig. 7b).

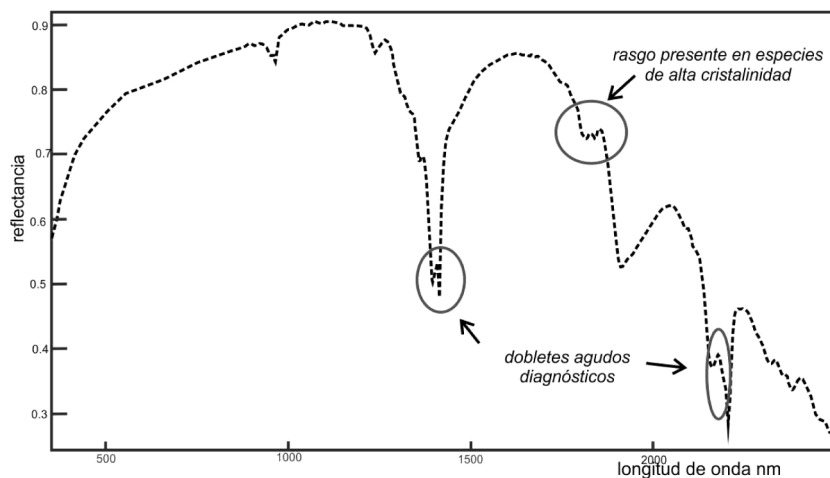


Figura 5. Espectro de reflectancia obtenido por SD Field Spec ProTM donde se observan los dobletes diagnósticos de la caolinita y el rasgo que marca su alta cristalinidad.

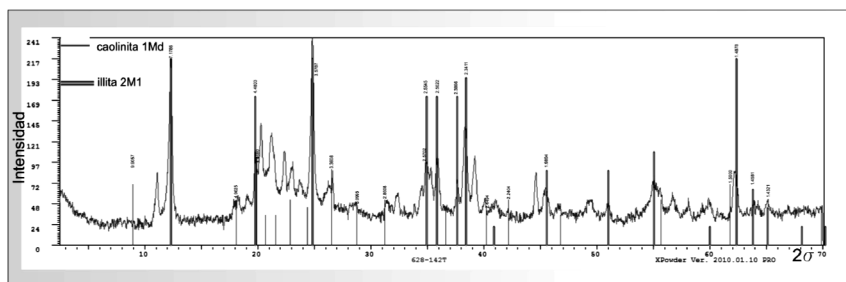


Figura 6. Diagrama de difracción de rayos X donde se identificó la asociación caolinita + illita 2M1 (obtenido a partir del software XPowder).

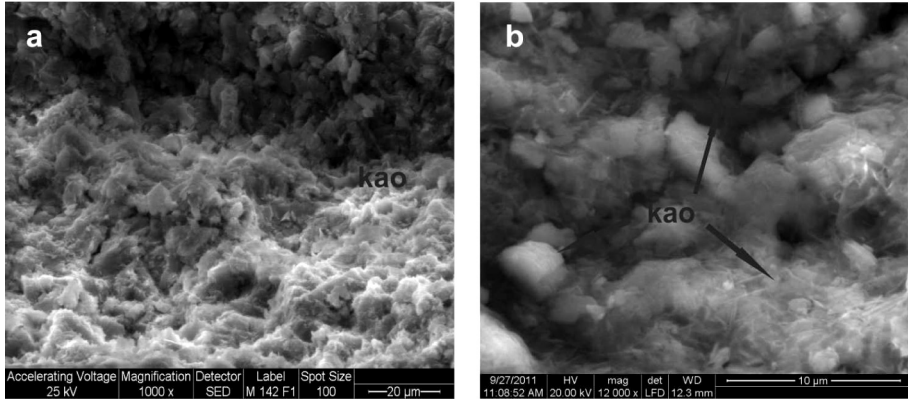


Figura 7. a) fotografía SEM de textura desarrollada por caolinita de alta cristalinidad; b) fotografía SEM de textura desarrollada por caolinita de baja cristalinidad.

Estudios de SEM realizados por KELLER (1976) sobre las texturas generadas por cristales de caolinita de diversos orígenes describen que las texturas densas están conformadas por cristales pequeños y son apretadas, las mismas corresponderían a ambientes *hidrotermales*; en cambio cuando se desarrollan texturas menos densas, con cristales de caolinita en paquetes de libros, son interpretadas como originarias de un ambiente de meteorización *in situ* de rocas cristalinas.

En cuanto al interestratificado esmectita-illita se midió la longitud de onda de absorción del ALOH ya que esta varía con la composición, determinándose que es potásica. En esta mezcla esmectita-illita predomina la especie esmectita (fig. 8).

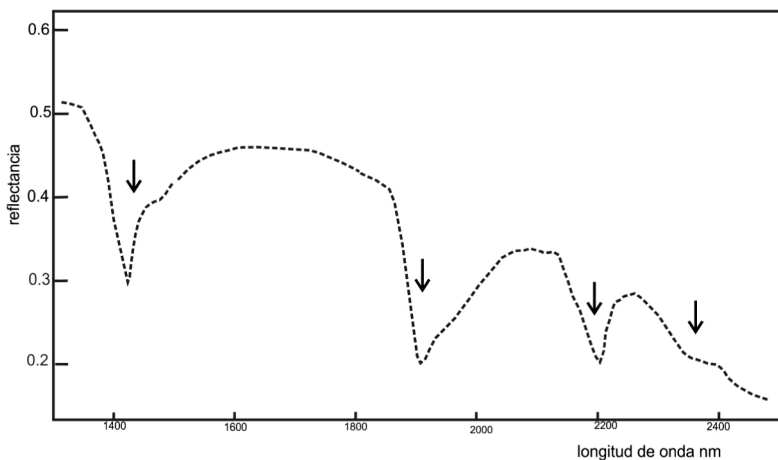


Figura 8. Espectro de reflectancia obtenido por SD Field Spec ProTM, se marcan los rasgos diagnósticos de la presencia de illita/esmectita.

DISCUSIÓN

Considerando que las muestras de caolinita de alta cristalinidad están en asociación con vetillas de cuarzo e illita 2M1, se puede interpretar que esta asociación es parte de una alteración argílica provocada por la acción de fluidos hidrotermales (REED, 1997). Esto también se corrobora en la textura densa y apretada que desarrollan los cristales de caolinita (KELLER, 1976).

La presencia de sulfuros y vetillas de cuarzo en las rocas metamórficas que componen el basamento cristalino de la Sierra del Volcán se asemeja a las reconocidas por READLEY *et al.* (1998) en rocas del Cratón Arqueano de Yilgarn al oeste de Australia, estos autores interpretan la presencia de sulfuros y vetillas de cuarzo, portadores de una mena de Ni-Zn-Cu-Au, como una evidencia del accionar de *fluidos hidrotermales metamórficos* que afectaron a las mismas. El concepto de dichos fluidos es tomado recientemente de acuerdo al criterio establecido por PIRAJNO (2009), quien sostiene que la presencia de metales en metamorfitas es una prueba contundente del accionar de fluidos a lo largo de planos tectónicos, además considera que a medida que aumenta el grado metamórfico las rocas pierden volátiles (H_2O , CO_2 , CO , H_2 , Cl , F , S , CH_4 , etc.) y se generan soluciones con metales producto de lixiviación de grandes volúmenes de rocas, las cuales fluyen a través de microfisuras conformando un importante sistema hidrotermal. Su generación estaría relacionada con la deshidratación y reacciones de descarbonatización que posibilitan que la dirección del flujo sea la determinada por el aumento de la temperatura. Durante el metamorfismo progradante se produce la disolución e incorporación del metal al fluido y luego durante la etapa retrógrada la precipitación de los metales, este proceso ocurre a temperaturas variables entre 350-650 °C y a 3-5 Kb de presión.

Los sectores con caolinita de baja cristalinidad, asociados a goethita y que desarrollan texturas menos densas, se podrían atribuir a un origen supergénico. Es posible postular que fenómenos de intemperización afectaron posteriormente a las rocas basamentales, pudiéndose interpretarlos como sobreimpuestos a los anteriormente descritos.

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a lo observado y citado precedentemente, el origen de los fluidos actuantes en el área en estudio podría estar vinculado con fenómenos de metamorfismo regional de alto a medio grado (facies anfibolita alta-granulita), dichas soluciones se habrían canalizado y circulado por distintas fracturas del basamento, previamente a la depositación de la Formación Balcarce.

Otra hipótesis del origen de esta alteración es que se haya originado a partir de fluidos hidrotermales aportados por un cuerpo ígneo no aflorante y del cual, hasta el momento, no se cuenta con evidencia geológica de su existencia.

Estudios isotópicos y microtermométricos que se están llevando adelante confirmarán el origen de los fluidos y de la alteración argílica de mayor orden estructural. En cuanto a la asociación caolinita-goethita se postula un origen supergénico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Lic. Miguel del Blanco por la lectura crítica del manuscrito y las sugerencias aportadas, así como a la empresa Minera Hostchild SA por la utilización del PIMA y a la UNLP por otorgar el subsidio para el desarrollo del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMOS, A.; QUARTINO, B. & ZARDINI, R. (1972): El grupo de La Tinta (provincia de Buenos Aires). Paleozoico y Precámbrico? *25° Congr. Bras. Geol., San Pablo. Actas*, 1: 211-221.
- ANGELELLI, V. (1945): *Estudio de los principales yacimientos de caolines y arcillas de la provincia de Buenos Aires*. Instituto Nacional de Geología y Minería. Informe inédito. Carpeta 659.
- ANGELELLI, V. & GARRIDO, L. (1988): Arcillas y caolines bonaerenses. Su composición y ensayos físicos. *III Congreso Nacional de Geología Económica*, tomo III: 88-117.
- DALLA SALDA, L. & ÍÑIGUEZ RODRÍGUEZ, M. (1979): "La Tinta", Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. *VII Congr. Geol. Arg., Neuquén. Actas*, I: 539-550.
- DI PAOLA, E. & GARCÍA ESPIASSE, A. (1986): Génesis del yacimiento de caolín Cerro Segundo, Sierra de Bachicha, partido de Balcarce. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Asoc. Arg. Miner. Petro. y Sed., Rev.*, XVII (3-4): 47-54.
- DI PAOLA, E. & MARCHESI, H. (1975): Relación entre la tecto-sedimentación, litología y mineralogía del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta, provincia de Buenos Aires. *Asoc. Arg. Miner. Petro. y Sed., Rev.*, V (3-4): 45-58.
- GONZÁLEZ, P. D. & CÁBANA, M. C. (2006): Mineralogía y trayectoria textural de anfibolitas de la Sierra de Bachicha, Sistema de Tandilia (Buenos Aires). *VIII Congreso de Mineralogía y Metalogía (MINMET 2006)*. Buenos Aires. Actas: 365-372.
- GONZÁLEZ, P.; TESSONE, M.; CABALLÉ, M.; CORIALE, N.; ETCHEVERRY, R. & CÁBANA, C. (2007): Asociaciones minerales y trayectoria textural de metamorfitas de Balcarce. Sistema de Tandilia, Buenos Aires. *Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Mar del Plata. Acta de Resumen*: 43.
- ÍÑIGUEZ RODRÍGUEZ, M.; DEL VALLE, A.; POIRÉ, D.; SPALLETTI, L. & ZALBA, P. (1989): Cuenca Precámbrica/Paleozoica inferior de Tandilia, provincia de Buenos Aires. *In: ACEÑOLAZA, G. (ed.): Cuencas Sedimentarias*. INSUIGEO, Tucumán, pp. 245-263.
- KELLER, W. D. (1976): Scan electronmicrographs of kolins collected from diverse environments of origin. *Clay and Clay Minerals*, 24: 107-113.
- KRETZ, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. *Am. Min.*, 68: 277-279.

- MARTIN, J. D. (2004): Using X Powder: A software package for powder X-ray diffraction analysis. www.xpowder.com. Spain, 105 pp.
- PIRAJNO, F. (2009): *Hydrothermal processes and mineral systems*. Ed. Springer, Australia, 1.273 pp.
- POIRÉ, D. & SPALLETTI, L. (2005): La cubierta sedimentaria precámbrica-paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. *In*: DE BARRIO, A.; ETCHEVERRY, R.; CABALLÉ, M. & LLAMBIAS, E. (eds.): Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino: *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*. Asociación Geológica Argentina, pp. 51-68.
- REED, M. K. (1997): Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid composition. *In*: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Wiley John & Sons, Inc. (Ed. Barnes).
- RIDLEY, J.; GROVES, D. & KNIGHT, T. (1998): Gold Deposits in Amphibolite and Granulite Facies Terranes of the Archean Yilgran Craton, Western Australia: Evidence and Implications of Synmetamorphic Mineralization. *In*: SPRY, P.; MARSHALL, B. & VOKES, F. (eds.): *Reviews in Economic Geology*, v. 11: *Metamorphosed and metamorphogenic ore deposits*.
- SCHILLER, W. (1938): Hallazgo de caolín en una falla de la Sierra Volcán, cerca de Balcarce, provincia de Buenos Aires. *Museo de La Plata, Notas*, tomo III, n.º 6.