



PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE XENOLITOS EN LA TRONDHJEMITA EL HONGO (CÁMBRICO), PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

S. Geuna^{1*}, L. Escosteguy², B. Díaz Appella¹, F. D'Eramo³ y L. Pinotti³

¹ IGEBA (CONICET-Universidad de Buenos Aires), Buenos Aires, Argentina.

² IGRM-SEGEMAR, Buenos Aires, Argentina.

³ Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

* e-mail: geuna@gl.fcen.uba.ar

ABSTRACT

Two xenoliths included in the Cambrian El Hongo trondhjemite, composed of biotite-tonalite gneiss, were studied. They both have magnetic susceptibility significantly higher than that of wall rocks, due to the presence of magnetite. Magnetite appears with ilmenohematite in one of the xenoliths, but with hemoilmenite and pyrite in the other one. The surrounding igneous rock shows the same assemblage in each case, though magnetite appears martitized, while rhombohedral oxide is fresh. A demagnetized halo is observed around one of the xenoliths, which we interpret as due to a magnetite-destructive reaction to form titanite. The importance of wall rocks as control of the oxide assemblages in different areas of the igneous rock is discussed.

Keywords: Xenolith, Magnetic petrology, Susceptibility

RESUMEN

Se estudiaron dos xenolitos de un gneis tonalítico-biotítico contenidos en la trondhjemita El Hongo (Cámbrico), que tienen susceptibilidad magnética significativamente mayor que la de la roca encajante, debido a la presencia de magnetita. En uno de los xenolitos la magnetita es acompañada por ilmenohematita, y en el otro, por hemoilmenita y pirita. La misma asociación se observa en el plutón circundante, en uno y otro caso, aunque la magnetita aparece martitizada, mientras el óxido romboédrico permanece fresco. Alrededor de uno de los xenolitos se observa un halo desmagnetizado que se interpreta como debido a una reacción destructiva de magnetita, para formar titanita. Se discute la importancia de la roca de caja como control de la asociación de óxidos en distintas áreas del cuerpo ígneo.

Palabras Clave: Xenolito, Petrología magnética, Susceptibilidad

Introducción

La petrología magnética integra estudios de magnetismo de rocas y petrología convencional, con el objeto de definir los procesos que crean, alteran y destruyen los minerales magnéticos (*e.g.* Clark, 1999). Las propiedades magnéticas de intrusiones ígneas reflejan la composición, el estado de oxidación, la alteración hidrotermal y el metamorfismo, que a su vez son controlados por el ambiente tectónico, características de la fuente, profundidad de emplazamiento y las rocas de caja. En este trabajo se presentan los resultados del estudio detallado de dos xenolitos contenidos en un cuerpo trondhjemítico, que aportan datos sobre la reología y comportamiento del magma en sus zonas de contacto, y por ende sobre la dinámica de la cámara magmática.

Marco geológico

El plutón El Hongo es un pequeño cuerpo trondhjemítico localizado en el extremo sur de la Sierra Chica



de Córdoba. Se intruye en un basamento constituido principalmente por gneises de alto grado metamórfico, cuyo protolito habría sido la secuencia sedimentaria clástica acumulada en el prisma de acreción Pampeano. En su zona central son abundantes los bloques de roca de caja concentrados en un corredor de rumbo N-S (Fig. 1). La trondhjemita es leucocrática, y está compuesta por más de un 90% de plagioclasa y cuarzo y

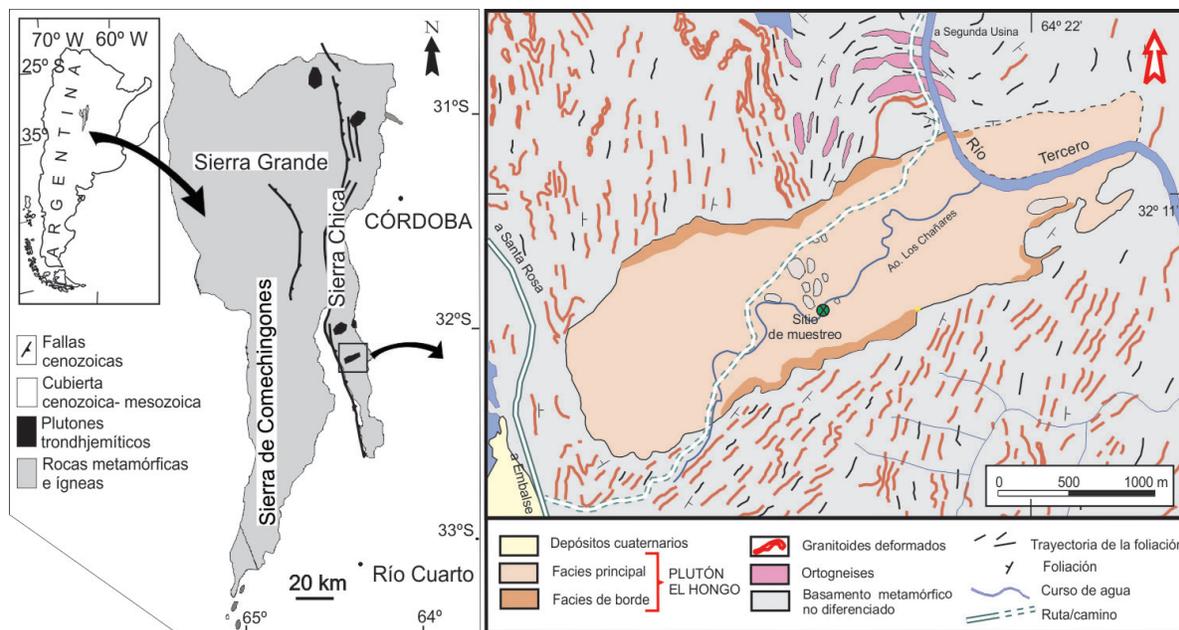


Figura 1. Mapa de ubicación (D'Eramo *et al.*, 2006).

menos de un 10% de minerales máficos; aparecen como accesorios biotita, epidoto, apatita, circón y titanita (D'Eramo *et al.*, 2006). Presenta un conspicuo bandeamiento magmático, dado por bandas ricas en biotita (de menos de 1 cm) que alternan con otras ricas en plagioclasa y cuarzo (de entre 2 y 30 cm). Las bandas tienen rumbo N-S y fueron interpretadas por D'Eramo *et al.* (2006) como producto de la inyección sucesiva de pulsos magmáticos de pequeño volumen, a lo largo de conductos de alimentación vinculados con una zona de cizalla sinistral. D'Eramo *et al.* (2013) obtuvieron una edad de cristalización de 500.6 ± 4.5 Ma, por el método U-Pb en circones.

D'Eramo *et al.* (2006) estudiaron la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), a partir de 29 sitios de muestreo distribuidos en todo el cuerpo. La susceptibilidad varía en más de dos órdenes de magnitud, entre 2×10^{-5} y 9×10^{-3} . La fábrica magnética es oblada, con una foliación de rumbo N-S con fuerte inclinación al oeste, que coincide aproximadamente con el bandeamiento magmático.

Metodología

En esta contribución se presentan los resultados de un estudio detallado de la variación de susceptibilidad magnética en los alrededores de dos xenolitos incluidos en el plutón El Hongo, en su área central (Fig. 1), y el modo en que esto reflejaría distintas variantes de interacción entre los xenolitos y el magma. Para ello se tomaron datos de susceptibilidad magnética con un susceptibilímetro SM30 (ZH Instruments), tomando puntos cada 20 centímetros en líneas espaciadas cada 10 centímetros. Se obtuvieron 32 muestras representativas de zonas de distinta susceptibilidad magnética, que fueron orientadas con brújula Brunton y solar. En 56 especímenes se midieron ASM y remanencia magnética. Siete secciones pulidas fueron analizadas en microscopio óptico con objetivos de inmersión en aceite. Los minerales fueron identificados por sus propiedades ópticas y no se establecieron sus composiciones precisas, por lo cual, a lo largo del

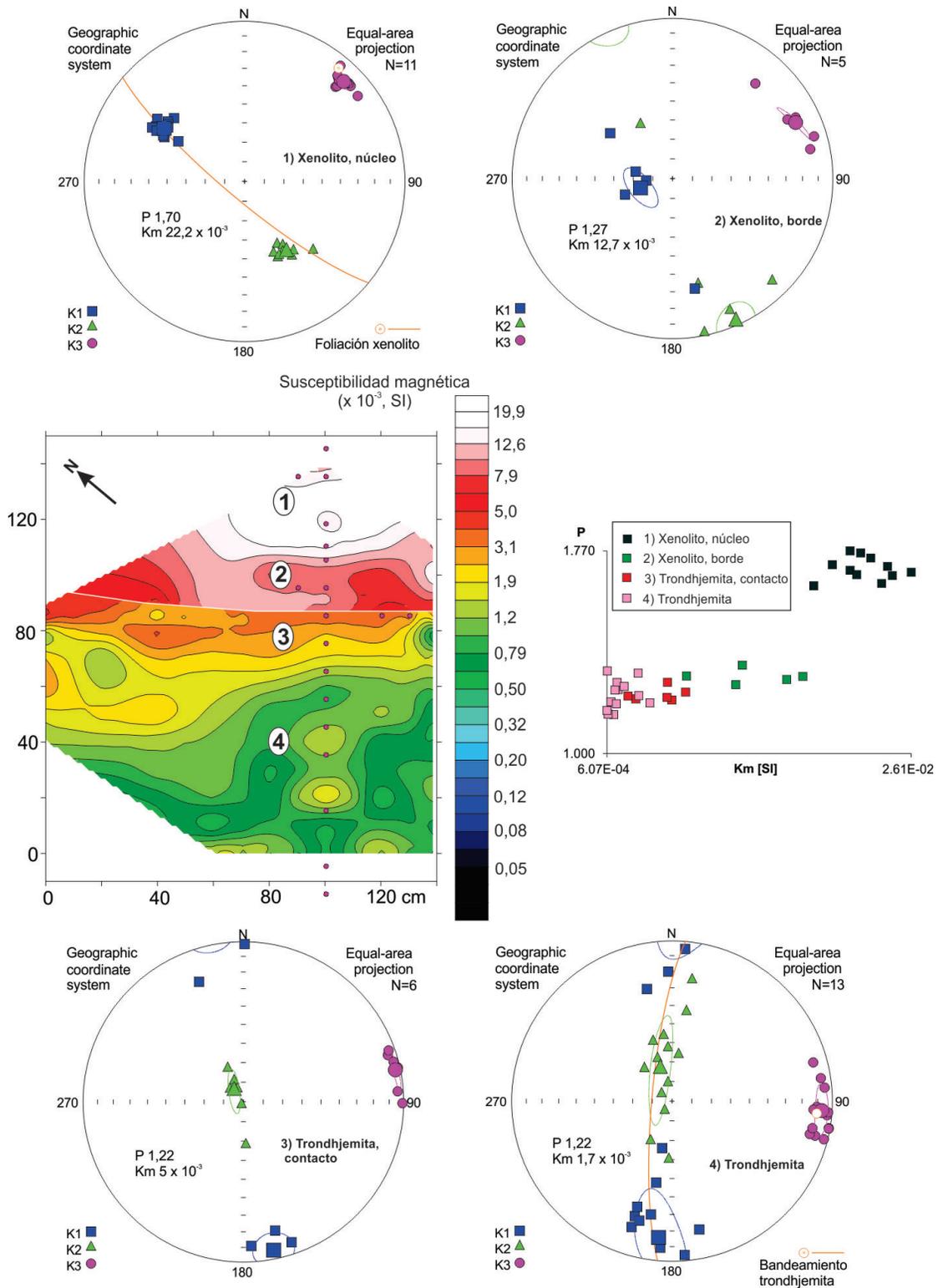
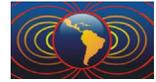


Figura 2. a), b), e) y f) Ejes del elipsoide de ASM por espécimen. c) Mapa de susceptibilidad magnética del xenolito P3. La línea blanca marca el límite del xenolito. Los puntos de color rosa marcan los sitios de extracción de testigos orientados. d) Grado de ASM (P) vs susceptibilidad magnética (k).



texto, “magnetita” se utiliza para referir al miembro de la serie cúbica ulvoespino-magnetita más cercana al extremo rico en Fe^{3+} ; “ilmenoematita” y “hemoilmenita” refieren a los miembros de la serie romboédrica hematita-ilmenita, más cercanos a sus extremos ricos en Fe^{3+} y $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}$, respectivamente.

Resultados

Xenolito P3: La superficie expuesta es de aproximadamente 1.5 m^2 . El bandeamiento gnéisico es paralelo al borde visible del xenolito y tiene rumbo N130, con fuerte inclinación al SO. Es discordante con el bandeamiento magmático de la trondhjemitita, de rumbo N185. La composición es tonalítica, con hasta 20% de biotita. La susceptibilidad del xenolito alcanza hasta 2.5×10^{-2} , lo cual indica la presencia de un 1-2% en volumen de magnetita. En secciones pulidas la magnetita se observa de gran tamaño (hasta 0.5 mm) y aspecto ópticamente homogéneo, aunque intensamente corroída; coexiste con piritita y con hemoilmenita, que muestra escasa ilmenoematita exsuelta en forma de gotas alargadas a lo largo de los planos 0001. La remanencia magnética es de baja intensidad (factor Q 0.3) y estabilidad (fuerza coercitiva inferior a 10 mT), como es característico cuando el mineral portador es magnetita multidominio (MD). La fábrica magnética en el núcleo del xenolito (zona 1 en Fig. 2) es altamente anisótropa y paralela al bandeamiento gnéisico (Fig. 2a). En el borde (zona 2) la susceptibilidad magnética disminuye, y con ello el grado de anisotropía; la foliación magnética adopta una posición intermedia entre el bandeamiento gnéisico y el magmático de la trondhjemitita.

A un metro de distancia del xenolito, la trondhjemitita alcanza valores mínimos de susceptibilidad, de alrededor de 8×10^{-4} (Fig. 2e). La fábrica magnética es bien marcada y paralela al bandeamiento magmático. Los minerales opacos son magnetita y hemoilmenita, la primera con alteración a hematita (martitización) en diversos grados de avance. La remanencia magnética es débil (factor Q 0.5) y muestra un leve endurecimiento con respecto a la del xenolito, con fuerzas coercitivas de hasta 20 mT. La disminución de susceptibilidad, anisotropía, e intensidad de remanencia, y el aumento de la fuerza coercitiva, son coherentes con una presencia menor de máficos+opacos en la trondhjemitita, y con su progresiva martitización. La naturaleza de los minerales opacos, sin embargo, es la misma en P3 y en su entorno. En la trondhjemitita en contacto con el xenolito, se observa una transición gradual en todas las propiedades observadas (Fig. 2c, d).

Xenolito P7: Es un bloque anguloso de unos 2 m de largo por 0,30 m de ancho, de un gneis tonalítico (20% de biotita) con bandeamiento de rumbo N30, algo oblicuo con respecto a sus bordes. La susceptibilidad promedio del xenolito es de alrededor de 8×10^{-3} . Los minerales opacos presentes son magnetita con grados variables de hematitización, e ilmenoematita (Fig. 4e, f). Esta última presenta exsoluciones de hemoilmenita y rutilo. La fábrica magnética es bien marcada y de dirección intermedia entre el bandeamiento gnéisico y el magmático de la trondhjemitita (Fig. 3b). Un 40-60% de la remanencia magnética es de baja coercitividad, pero la fracción restante tiene fuerzas coercitivas del orden de 100 mT o más, y temperaturas de bloqueo 610-630°C. El factor Q promedio es 0.53, gobernado por la fracción de baja fuerza coercitiva (magnetita MD).

La trondhjemitita a unos 2 m de distancia de P7 tiene una susceptibilidad magnética menor en un orden de magnitud, 8×10^{-4} (zona 3 en Fig. 3a). La hematitización de la magnetita es virtualmente completa, pero la ilmenoematita permanece inalterada. La fábrica magnética es paralela al bandeamiento magmático (Fig. 3d). La remanencia magnética es de alta estabilidad, con fuerzas coercitivas superiores a 100 mT y temperaturas de bloqueo 610-630°C, y el factor Q trepa hasta 3. Esto evidencia la ausencia de magnetita como mineral portador; la temperatura de bloqueo (menor a 680°C) sugiere que el principal mineral responsable de la remanencia es la ilmenoematita magmática.

En los 15-30 cm que rodean al xenolito P7, la susceptibilidad de la trondhjemitita aparece reducida considerablemente con respecto a sus valores promedio, en un orden, a 8×10^{-5} (zona 2 en Fig. 3a). Aquí la fábrica magnética es similar a la del entorno (Fig. 3d) y los minerales opacos presentes son los mismos,

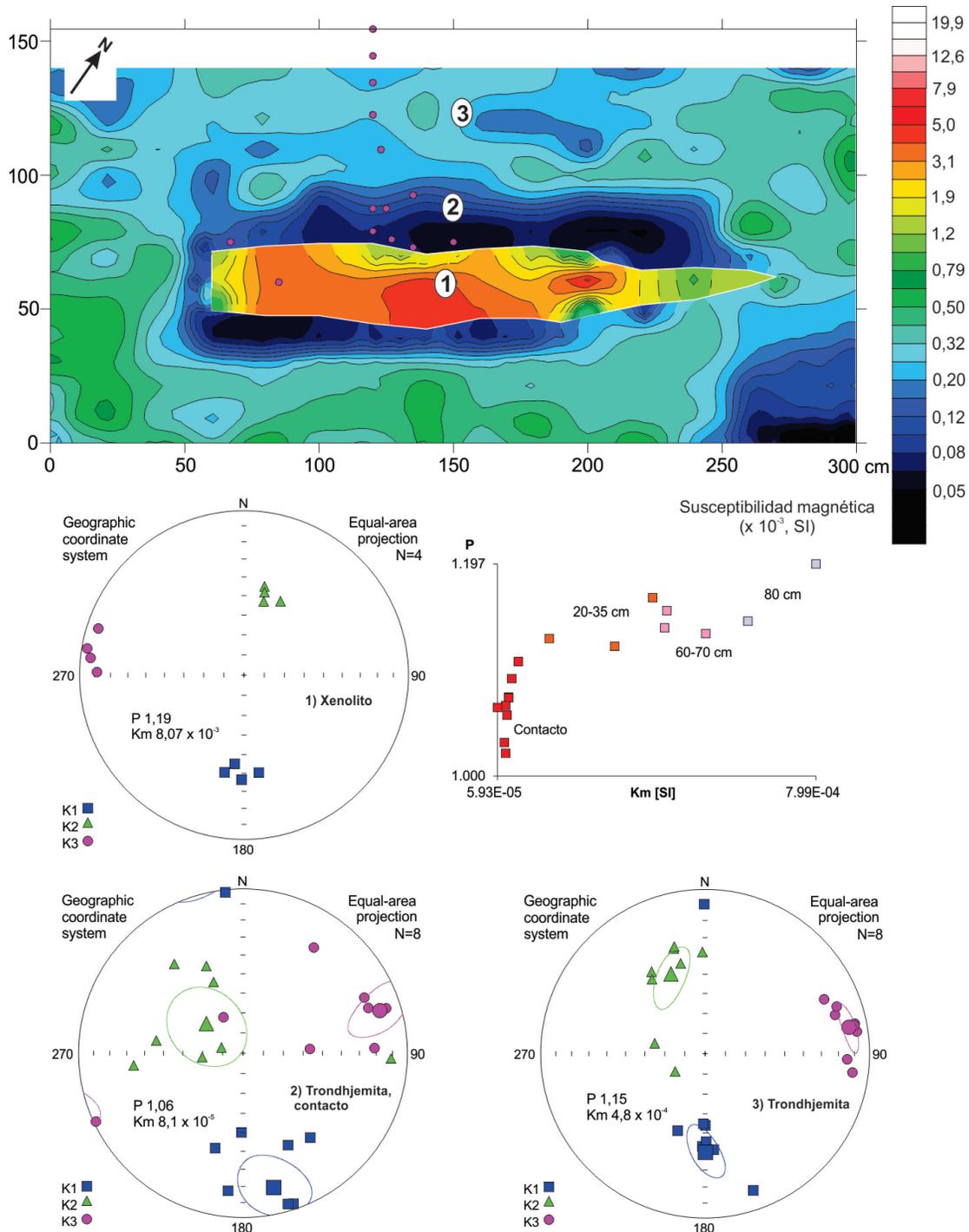
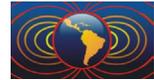


Figura 3. a) Mapa de susceptibilidad magnética del xenolito P7, referencias como en figura 2c). b), d) y e) Ejes del elipsoide de ASM por espécimen. c) Grado de ASM (P) versus susceptibilidad magnética (k).

con iguales características en cuanto a la estabilidad de la remanencia magnética (magnetita martitizada + ilmenohematita). La disminución en susceptibilidad obedece a la menor abundancia de opacos, que aparecen reemplazados por titanita. Esto indica que en el halo que rodea a P7 se ha producido una reacción destructiva de magnetita/ilmenohematita con formación de titanita, por interacción entre el xenolito y el magma.

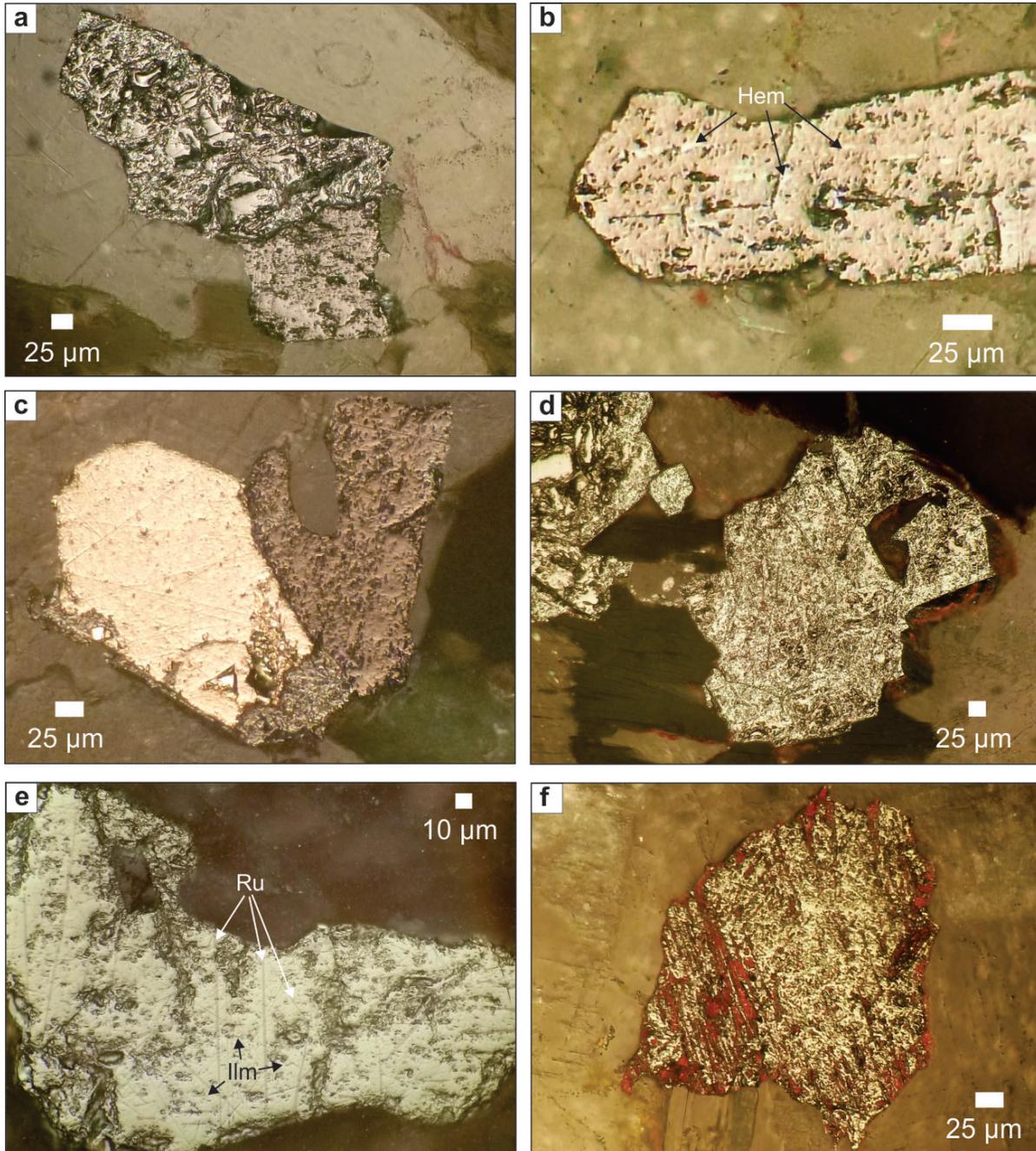
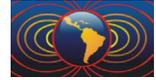
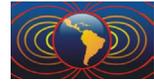


Figura 4. Fotomicrografías. a) Magnetita homogénea (rosado claro) con alteración incipiente a hematita (blanco), coexistiendo con hemoilmenita (rosado oscuro). P3. b) Hemoilmenita (rosada) con exsolución de ilmenohematita (Hem, blanca) en forma de gotas alargadas según el plano (0001). P3. c) Pirita (blanco amarillento) alterada a goethita (gris, abajo) y coexistiendo con hemoilmenita (rosado intenso). P3. d) Magnetita con grado avanzado de hematitización. Parches relictos de magnetita (rosado) rodeados por hematita (blanca) que progresa a lo largo de bordes y fracturas. P3, roca de caja. e) Ilmenohematita (blanco grisáceo) con exsolución de hemoilmenita en forma de lamelas y gotas de forma irregular (Ilm, gris rosado), alargadas a lo largo del plano (0001), y de rutilo, en forma de lamelas rectilíneas (Ru, gris más claro). P7. f) Hematita pseudomorfa según magnetita (martita). Nótese el reticulado propio de la estructura octaédrica de la magnetita original, y la presencia de escasos parches relictos de color rosado. P7.



Discusión y conclusiones

Una susceptibilidad volumétrica de $0.6-1 \times 10^{-3}$ parece ser la típica de la trondhjemita; valores en este orden indican una abundancia de aproximadamente 0.2-0.3% en volumen de magnetita. Si bien los opacos son más abundantes que eso (pueden constituir el 1% de la roca), los valores reducidos de susceptibilidad reflejan el avanzado grado de martitización que caracteriza a las magnetitas magmáticas en cada punto estudiado, y que habría ocurrido durante el enfriamiento en condiciones oxidantes. Por otra parte, el óxido romboédrico (hemoilmenita o ilmenoematita, según el caso) permanece relativamente fresco.

El óxido romboédrico presente en el entorno de P3 es hemoilmenita (Fig. 4b) mientras que el de P7 es ilmenoematita (Fig. 4e); sólo este último tiene fuerza coercitiva suficiente como para portar remanencia magnética intensa y estable ($Q = 3$). Las texturas de exsolución muestran que esta diferencia composicional es original, lo que evidencia condiciones más oxidadas alrededor de P7 a temperaturas magmáticas. Las paragénesis de cada xenolito se conservan en el plutón circundante, pero se observan variaciones transicionales en la susceptibilidad y AMS, que serían efecto de la interacción entre xenolitos y magma durante un tiempo prolongado de residencia. El desarrollo de un halo “desmagnetizado” alrededor del xenolito P7, con susceptibilidad disminuida en un orden de magnitud, es llamativo. El examen microscópico revela que allí podría haber ocurrido una reacción destructiva de magnetita, con producción de titanita.

La presencia de paragénesis similares en cada xenolito y su entorno, sugiere que el tipo de roca de caja podría ejercer un control en la paragénesis de óxidos de la roca plutónica, muchos de los cuales podrían ser heredados de aquella.

Estudios localizados como éste, enfocado en las propiedades magnéticas de las zonas que circundan a xenolitos, permite comprender mejor el sistema magnético del plutón en su conjunto, y las posibles razones de la variabilidad en sus propiedades magnéticas, observada previamente por D'Eramo *et al.* (2006). La inhomogeneidad de las rocas encajantes asimiladas por el magma podría ejercer un fuerte control sobre esta variabilidad. A la variabilidad inicial debe sumarse el efecto de la oxidación posterior, subsólida, que parece haber sido más intensa en sectores originalmente oxidados, y provocó la casi completa martitización de la magnetita.

Agradecimientos:

Financiado con PICT 2011-0956, UBACyT 20020130100465BA, 20020130100016BA y PIP 112-201101-00294.

Referencias

- Clark D. A., 1999. Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Expl. Geoph.* 30, 5-26
- D'Eramo F., Tubía J. M., Pinotti L., Vegas N., Coniglio J., Demartis M., Aranguren A., Basei M., 2013. Granite emplacement by crustal boudinage: example of the Calmayo and El Hongo plutons (Córdoba, Argentina). *Terra Nova*, 25, 423-430
- D'Eramo F., Pinotti L., Tubía J. M., Vegas N., Aranguren A., Tejero R., Gómez D., 2006. Coalescence of lateral spreading magma ascending through dykes: a mechanism to form a granite canopy (El Hongo pluton, Sierras Pampeanas, Argentina). *J.Geol. Soc. London*, 163, 1-12