

PALEOACTIVIDAD HIDROTÉRMAL EN LA DISCORDANCIA ENTRE EL COMPLEJO BUENOS AIRES Y LA FORMACIÓN LA TINTA EN EL ÁREA DE BARKER, TANDILIA

Juan C. MARTÍNEZ¹ y Jorge A. DRISTAS²

¹ CONICET, INGEOSUR y Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. E-mail: jcmartin@uns.edu.ar

² CIC, INGEOSUR y Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. E-mail: jdristas@criba.edu.ar

RESUMEN

Se estudió la alteración presente en las rocas de la discordancia entre el Complejo Buenos Aires, Precámbrico, y la Formación La Tinta, Precámbrico tardío - Cámbrico, en ocho perfiles dispuestos en una extensa área de los alrededores de Barker, sierras de Tandil. El estudio petrográfico, la difracción de rayos x, el tratamiento de los análisis químicos de roca total y el estudio de inclusiones fluidas permitieron apoyar o cuestionar hipótesis previas sobre el origen de la alteración de tales rocas.

Las paragénesis minerales sugieren patrones de alteración asimétricos confinados al contacto basamento - secuencia sedimentaria, con variaciones locales. Pirofillita + sericita (2M1-1M) + especularita (titanohematita) ± minerales aluminio fosfato-sulfato (APS) ± turmalina ± rutilo se encuentran en la discordancia donde la lixiviación de elementos y temperaturas fueron mayores (~ 260 °C). Sericita (1M) + clorita + calcita ± anatasa-rutilo ± caolinita (1T) ± cuarzo secundario se desarrolló donde las temperaturas fueron menores, alejadas de la discordancia. La silicificación local de las rocas de la discordancia fue posterior ó simultánea a la alteración de más baja temperatura (< 190 °C). Mediante el uso de diagramas de la isocon se muestra la movilidad de los componentes en los distintos tipos de alteración.

Todas las paragénesis minerales halladas pueden ser explicadas satisfactoriamente por un modelo de alteración hidrotermal en el cual la discordancia actuó como canal de circulación de fluidos, de múltiples focos de actividad, a escala regional.

Palabras clave: *Tandilia, Barker, alteración hidrotermal, discordancia, silicificación.*

ABSTRACT: *Hydrothermal paleoactivity in the unconformity between the Buenos Aires Complex and La Tinta Formation in the Barker area, Tandilia.*

The alteration present at the rocks in the unconformity between the Precambrian Buenos Aires Complex and the Late Precambrian-Cambrian La Tinta Formation was studied in eight profiles widespread around Barker locality, Tandilia Ranges. The petrographic study, the x-ray diffractometry, the treatment of whole-rock analysis and the fluid inclusion study allowed either to support or to question previous hypotheses about the genesis of such altered rocks.

Mineral parageneses suggest asymmetric alteration patterns confined to the contact, basement - sedimentary succession, with local variations. Pyrophyllite + sericite (2M1-1M) + specularite (titanohematite) ± aluminum phosphate-sulfate (APS) minerals ± tourmaline ± rutile occurred where elements leaching and temperatures were higher (~ 260 °C), at the unconformity. Sericite (1M) + chlorite + calcite ± anatase-rutile ± kaolinite (1T) ± secondary quartz developed where lower temperature was reached, usually farther from the unconformity. Local silicification, at the unconformity rocks, postdates or was simultaneous with the alterations of lower temperatures (< 190 °C) of formation. By means of isocon diagrams the component mobility in the different types of alteration are shown.

All mineral parageneses found could be satisfactorily explained by a hydrothermal alteration model in which the unconformity acted as a hydrothermal channel way, of multiple activity focus, on a regional scale.

Keywords: *Tandilia, Barker, hydrothermal alteration, unconformity, silicification.*

INTRODUCCIÓN

El basamento de las Sierras Septentrionales de Buenos Aires, conocido como Complejo Buenos Aires (Marchese y Di Paola 1975), está compuesto por una amplia variedad de rocas graníticas, migmatíticas, anfibolíticas, gnéissicas, filonianas, metavolcánicas y calcáreas con mayor ó menor grado de deformación. Si bien hay un registro amplio de edades, un evento tectónico principal habría sucedido durante el Transamazoniano

(2600-1800 Ma) (Cingolani y Dalla Salda, 2000). Este basamento es cubierto, median-do una discordancia erosiva y un hiatus temporal de amplitud cronológica variable, por una secuencia sedimentaria de escasa potencia de edades precámbricas tardías a paleozoicas tempranas (Harrington 1956). Sobre la variedad petrológica del basamento cristalino han sido reconocidas asociaciones minerales de alteración que fueron atribuidas principalmente a procesos de me-teorización (Poiré 1987, Zalba *et al.* 1992,

Zalba y Andreis 1998) y a procesos hidro-termales (Di Paola y Marchese 1974, Zalba 1982, Dristas y Friscale 1984, Friscale 1991, Friscale y Dristas 1993; Zalba y Andreis 1998, Dristas *et al.*, 2003, Dristas y Martínez en prensa, Poiré com. pers.). Estas asociaciones de minerales de alteración fueron justamente descriptas en la zona de discordancia en las áreas de Olavarría, Barker y San Manuel.

En el área de San Manuel, a unos 50 kilómetros al sudeste de Barker, Dristas y Fri-

caracteriza por primera vez la silicificación del basamento del norte de la sierra de la Juanita.

GEOLOGÍA LOCAL

El sector bajo estudio se sitúa en el área de la localidad de Barker, región centro - sur de Tandilia. Allí, las serranías y lomadas del basamento ígneo-metamórfico, al noreste, dejan lugar hacia el sudeste a las serranías mesetiformes de la secuencia sedimentaria neoproterozoica (Fig. 1).

Los ocho perfiles estudiados (puntos 1-8; Fig. 1) se disponen en los extremos septentrionales de los cerros y sierras que desde el cerro Gruta de Oro (Fig. 1, punto 1) hasta los cerritos situados al este de la sierra de la Juanita (Fig. 1, punto 8) exponen afloramientos aislados del contacto basamento-secuencia sedimentaria. Las mejores exposiciones se encuentran en las pequeñas labores de la cantera del NE de la estancia Inca Huasi (Fig. 1, punto 8), en un destape del norte de la sierra de la Juanita (Fig. 1, punto 7) y en La Tolva (Fig. 1, punto 2). Los perfiles restantes fueron relevados sobre afloramientos naturales.

El basamento de este sector, Complejo Buenos Aires, corresponde principalmente a migmatitas con composiciones tonalíticas a granodioríticas y con mayor o menor grado de deformación dúctil. La cubierta sedimentaria que aflora en el área de Barker es una de las más completas del ámbito de las sierras de Tandil. Ella incluye a todos los miembros de la Formación La Tinta (Leveratto y Marchese 1983) o Grupo Sierras Bayas (Dalla Salda e Iñiguez 1979, Poiré 1993) más la Formación Cerro Negro (Poiré 1987) y la Formación Balcarce (Dalla Salda e Iñiguez 1979). Sin embargo la existencia de esta última en el área no es del todo clara (Poiré y Spalletti 2005). La Formación La Tinta se compone de areniscas cuarcíticas, ortocuarcitas, brechas y conglomerados cuarcíticos, dolomías estromatolíticas, calizas, margas y pelitas. Toda la secuencia tiene un buzamiento regional menor de 6 grados hacia el SO y SSO (Leveratto y Marchese 1983).

Para el tema bajo estudio sólo resulta de interés la sección más inferior de la Formación La Tinta (primer miembro ortocuarcí-

tico). La base de este nivel comúnmente comienza con areniscas cuarcíticas sabulíticas y bimodales, que rápidamente pasan a ortocuarcitas finas a medianas, altamente cementadas. Éstas areniscas representan la acumulación de resistatos en ambientes costaneros de alta energía cinética (Di Paola y Marchese 1974).

METODOLOGÍA

Se relevaron ocho perfiles verticales (Fig. 2) en la discordancia entre el basamento y la secuencia sedimentaria (Fig.1). Sobre las muestras colectadas se realizaron observaciones petrográficas, análisis difractométricos de rayos X, análisis químicos sobre roca total y petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas.

Las condiciones de trabajo del equipo de rayos X, *Rigaku Geigerflex D Max III*, fueron de 4°/min, 35 Kv y 15 mA. El procesado de las muestras, previo a la irradiación, incluyó la separación de la fracción arcilla (< 2 µm), especialmente en las muestras con alto contenido de cuarzo. Se corrieron valores entre 3° y 65° de 2θ. Esta metodología fue especialmente útil en la identificación de los minerales laminares y sus poltipos. En cambio la petrografía fue la única herramienta utilizada en la identificación de minerales aluminosulfato-sulfato, turmalina y anatasa-rutilo. Pero sobre la base de múltiples observaciones microscópicas y análisis de microsonda realizados en trabajos previos en la misma zona de estudio.

Los análisis químicos sobre roca total (*research quality*) fueron efectuados en los laboratorios de ACTLAB, Canadá, con el empleo de técnicas de fusión-ICP, INAA e ICP-MS, y XRF para elementos mayoritarios, menores y trazas respectivamente.

Para los análisis microtermométricos sobre inclusiones fluidas se utilizó una platina de calentamiento-enfriamiento Linkam MDS 600 informatizada al programa Linksys 2.23, con un rango de temperatura de -180 a +600 °C.

PETROGRAFÍA Y ZONA DE ALTERACIÓN

CERRO GRUTA DE ORO

En este sector (Fig. 1, punto 1), el basamen-

to tiene afloramientos aislados, por lo cual el contacto discordante con la unidad sedimentaria no fue hallado. Éste corresponde a una migmatita tonalítica con un marcado bandeamiento con rumbo NO. Su leucosoma presenta plagioclasa (Ab₆₀An₄₀ según petrografía), cuarzo recristalizado y escasa ortoclasa, mientras que el melanosoma se compone de laminillas de biotita. Tiene una alteración incipiente, que consiste en sericitización y epidotización de los feldespatos, y de cloritización y epidotización de la biotita y del granate, resultantes del metamorfismo dinámico retrógrado previo del basamento.

Sin continuidad con la exposición anterior, y en el afloramiento más próximo a la unidad sedimentaria, se halla la migmatita muy alterada. Allí, el cuarzo originario está inmerso en una matriz de pirofilita + sericita (2M₁-1M) ± caolinita (1T) ± goethita-hematita + minerales AFS (aluminio fosfatosulfatos) ± turmalina (Fig. 2). Una pseudofoliación de tipo anastomosada, de planos irregulares, es generada por la orientación incipiente de las micas de la matriz arcillosa y de los porfiroclastos de cuarzo con textura en mosaico (derivados de la deformación dúctil del basamento), corroídos por dicha matriz arcillosa. Ésta pseudofoliación puede estar resaltada por la presencia de agregados de goethita-hematita derivados de la destrucción de la biotita. A este nivel, es notable la desaparición de casi toda la mineralogía previa y el bandeo de composición original. Los minerales laminares, pirofilita-sericita, se caracterizan por presentarse en agregados de laminillas de formas curvas (<100 µm), dispuestos principalmente en las caries del cuarzo (textura en remolino), conformando una típica textura de reemplazo.

En la base de la unidad sedimentaria se halla una ortocuarcita, con crecimiento de cuarzo sintaxial, contactos estilolíticos y lobulados. En el cemento sintaxial y los granos detríticos hay caries directas rellenas con laminillas de sericita y caolinita.

ÁREA DE CUCHILLA DE LAS ÁGUILAS

Este sector incluye los perfiles de La Tolva (Fig. 1, punto 2), norte de cerro del Medio

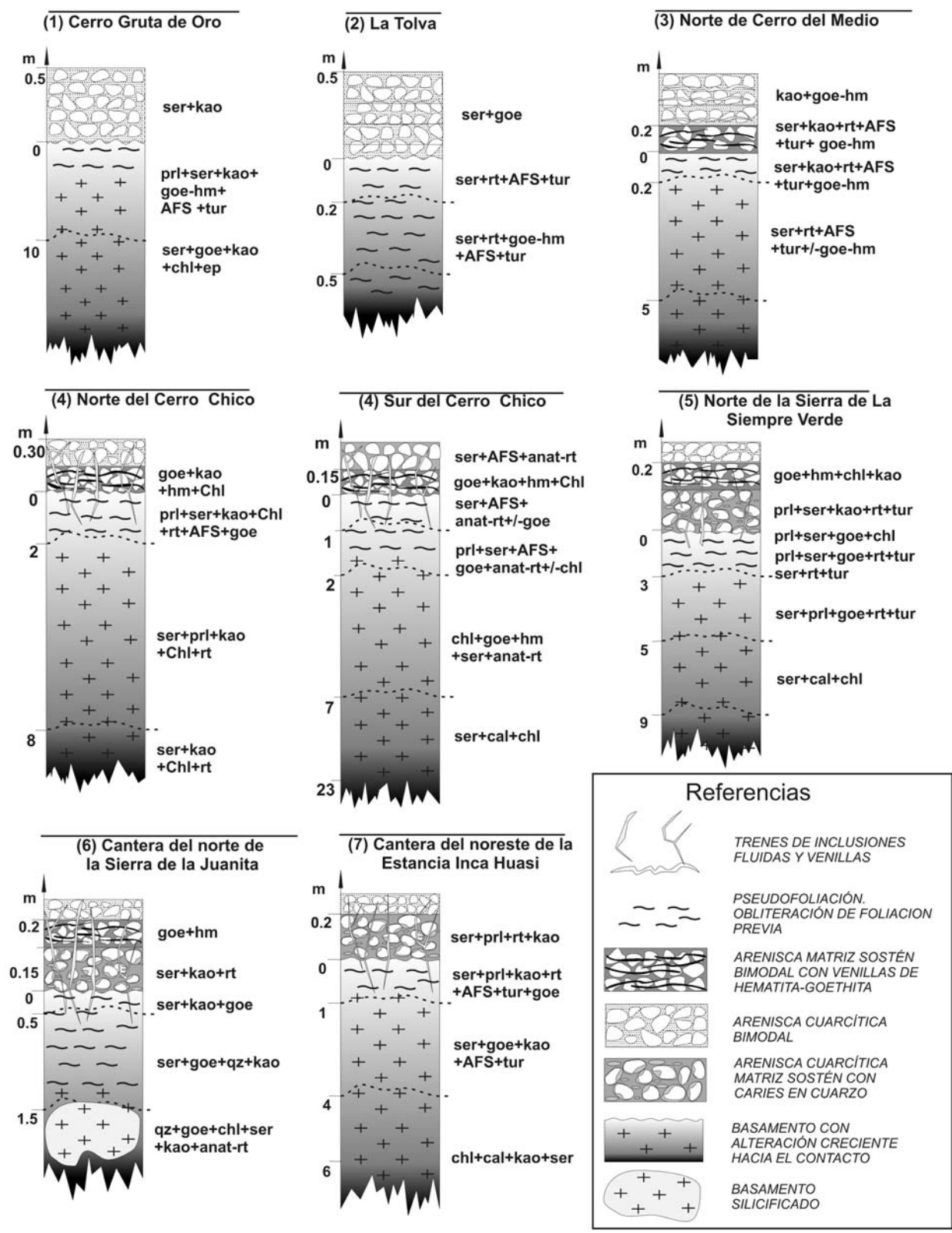


Figura 2: Perfiles verticales esquemáticos de la alteración desarrollada en la discordancia. Sobre la izquierda de cada perfil se nota la distancia en metros desde la discordancia hacia arriba o abajo. Sobre la derecha de cada perfil están las paragénesis de alteración halladas para cada caso reconocidos por difracción de rayos X y/o por microscopía petrográfica: qz: cuarzo; ser: sericita; kao: caolinita; prl: pirofilita; chl: clorita; cal: calcita; hm: hematita; goe: goethita; AFS: minerales aluminio fosfatos-sulfatos; tur: turmalina; anat: anatasa; rt: rutilo; ep: epidoto. Abreviaturas según Kretz (1983).

(Fig. 1, punto 3) y norte y sur del Cerro Chico (Fig. 1, puntos 4 y 5, respectivamente), los cuales han sido previamente estudiados (Dristas y Martínez en prensa). La alteración en estos perfiles se manifiesta con una marcada variación mineralógica en sentido vertical (Fig. 2, perfiles 2-4) con intensidad creciente hacia la discordancia tanto en el basamento como en base de la unidad sedimentaria. Los términos de alteración más alejados de la discordancia presentan sericita + calcita + clorita, mientras que en aquellos del contacto ó próximos a este, la asociación pirofilita + sericita + minerales AFS es dominante. El basamento y la secuencia sedimentaria comparten texturas y minerales de alteración. Entre ellas, el reemplazo de los cristales de cuarzo del basamento ígneo-metamórfico por sericita ($2M_1$) y/o pirofilita, con textura en remolinos, tiene su contraparte en el reemplazo parcial a total de los granos clásticos de una arenisca cuarcítica con matriz arcillosa.

En La Tolva la alteración arcillosa del basamento es total (sericita $2M_1$ - $1M$ + rutilo + turmalina + minerales AFS \pm goethita-hematita) y el protolito, migmatitas granodioríticas a tonalíticas con grados de deformación variable, se exponen en la base de los perfiles de Cerro del Medio y Cerro Chico.

Hematita y goethita son ubicuos en todos los perfiles. Sin embargo en las areniscas cuarcíticas y arenitas de la base, las venillas de estos minerales, pseudoparalelas a la estratificación, atraviesan los granos de la roca indicando la dirección preferencial de circulación de los fluidos. En otras venillas rellenas por cuarzo secundario, que generalmente cortan a las sedimentitas de manera normal a las venillas anteriores (Fig. 3 a), se realizaron mediciones microtermométricas.

SIERRA DE LA SIEMPRE VERDE

En el extremo norte de la sierra de La Siempre Verde (Fig. 1, punto 6), a unos 9 m por debajo de la discordancia aflora el basamento de textura equigranular, hipidiomórfica y prácticamente sin deformación. Se compone de andesina (45%), cuarzo (30%), biotita (12%) y escaso feldespato alcalino (8%). La alteración (5%) corresponde a sericita y clo-

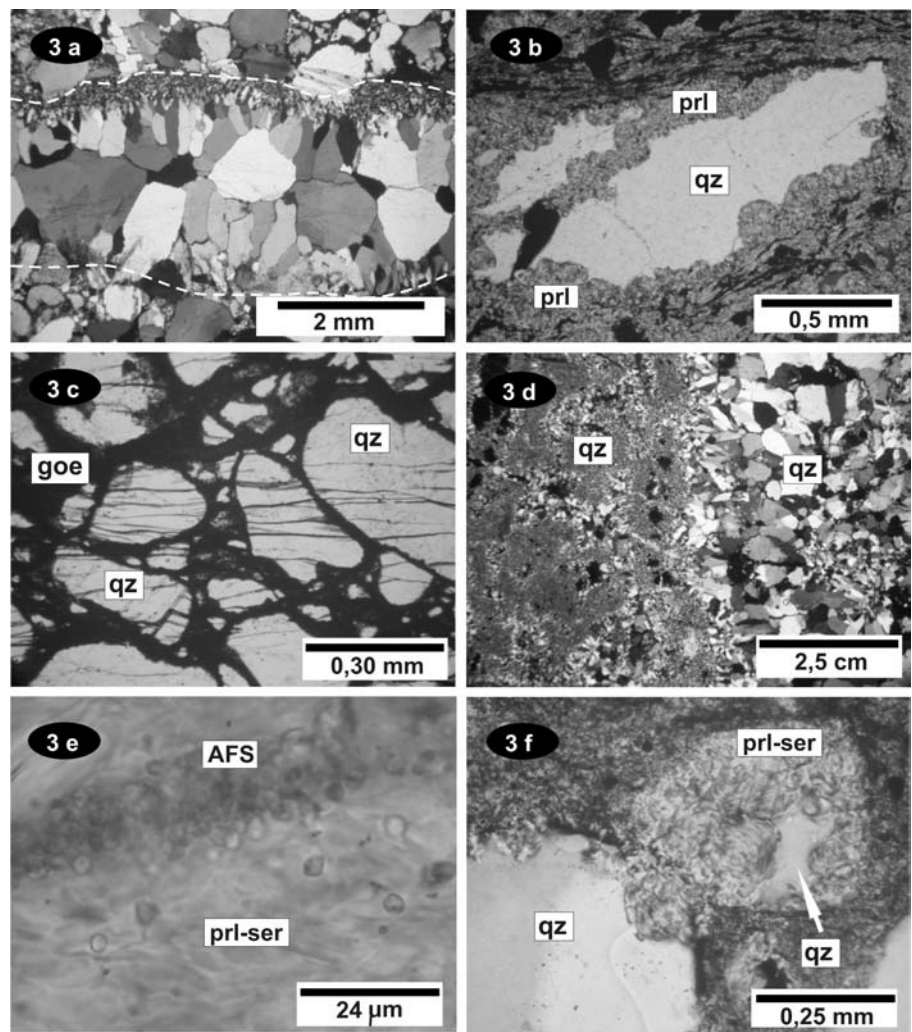


Figura 3: Fotomicrografías petrográficas de rocas cercanas a la discordancia. a) venilla de cuarzo secundario, con textura 'en peine', atravesando las areniscas cuarcíticas bimodales (norte del Cerro Chico). b) cristal de cuarzo del basamento, inmerso en una matriz de ser + prl + rt + goe, con caries directas rellenas por pirofilita-sericita (norte de la sierra de La Siempre Verde). c) venillas de goethita atravesando los granos de una arenisca cuarcítica (norte de la sierra de La Siempre Verde). d) cuarzo secundario del basamento silicificado. En la mitad derecha se observa cuarzo microcristalino anhedral y la izquierda cuarzo euhedral (norte de la sierra de la Juanita). e) concentración de minerales AFS en la alteración sericítica-pirofilitica del basamento (noreste de la estancia Inca Huasi). f) reemplazo pseudomórfico de granos de cuarzo de la arenisca cuarcítica por pirofilita-sericita con textura en 'remolino' (noreste de la estancia Inca Huasi). Fotomicrografías 3 a, b, d y f con analizador intercalado; 3 c y e con luz paralela. Abreviaturas según Kretz (1983).

rita a partir de biotita, y sericita y calcita a partir de los feldespatos.

Hacia arriba la alteración arcillosa se intensifica, de manera que sólo se preserva el cuarzo con caries directas en una matriz arcillosa. Se observa una pseudomorfosis total de biotita por especularita y sericita. La matriz de alteración es sericita + pirofilita + especularita + rutilo \pm turmalina.

En los siguientes 3 m hacia la discordancia, el basamento carece de su estructura origi-

nal y adquiere una pseudofoliación horizontal, dada por la orientación incipiente de los minerales laminares, con exposiciones de tonalidades más claras que en los niveles inferiores. Nuevamente se repite el esquema de los perfiles anteriores donde el cuarzo metamórfico luce caries bien desarrolladas rellenas esencialmente por pirofilita y sericita ($2M_1$ - $1M$) con textura en 'remolino'. La muscovita que reemplaza a la biotita primaria alcanza mayor tamaño que aquella de

la matriz de alteración, y contiene diminutos cristales de rutilo en su clivaje. Inmediatamente por debajo del contacto, la pirofilita y el óxido de hierro están en menor proporción que sericita, pero hacia los laterales algunas muestras presentan pirofilita dominante.

Sobre la discordancia se desarrolló una matriz de goethita + especularita + clorita + caolinita en la arenisca cuarcítica de los primeros 20 cm de la base de la unidad sedimentaria. Los filosilicatos y la especularita se presentan en agregados (nidos) y dispersos en los espacios intergranulares, resultantes de la cristalización 'in situ'. En el área de cerro Chico la especularita es portadora de Ti y la clorita, rica en hierro, es del tipo daphnita (Dristas y Martínez, en prensa). La arenisca está surcada por numerosas venillas de goethita y clorita paralelas a la estratificación.

Unos 60 metros más al sur, sobre el faldeo oeste de la sierra, se reconocen las mismas texturas de reemplazo del cuarzo del basamento por pirofilita en remolinos (Fig. 3b). La matriz de alteración es pirofilita + caolinita + turmalina + anatasa-rutilo. La base de la unidad sedimentaria también muestra el reemplazo de sus granos de cuarzo por pirofilita en remolinos y la matriz de alteración es la misma que se observa en el basamento. Aquí también son comunes las venillas de hematita-goethita (Fig. 3c) pseudo-paralelas a la estratificación.

CANTERA DEL NORTE DE LA SIERRA DE LA JUANITA

En una pequeña labor ubicada en el extremo norte de la sierra de la Juanita (Fig. 1, punto 7) se expone el contacto del basamento de tonalidad rojiza con las ortocuarzitas y areniscas cuarcosas (Fig. 2). A 2 m por debajo de la discordancia la silicificación es masiva, y la mineralogía de alteración incluye caolinita (1T) sericita + anatasa-rutilo + goethita. La microestructura del cuarzo secundario varía desde texturas poligonales de relleno hasta agregados microcristalinos de contactos interdigitados (Fig. 3 d) y venillas de cuarzo euhedral con óxidos de hierro que evidencian una etapa posterior de generación de microfracturas y microbrechas. La caolinita se presenta co-

mo grandes cristales laminares (<250 μm) dispuestos entre los cristales de cuarzo y frecuentemente teñidos por goethita.

Hacia la discordancia, la silicificación se reduce a pequeños lentes de cuarzo secundario de textura poligonal orientados según la seudofoliación de la matriz de alteración (sericita (1M) + caolinita (1T) + goethita-hematita). Dado que no se halló silicificación del basamento, a este nivel, se supone que ésta no tiene gran extensión. Inmediatamente por debajo de la discordancia, donde la intensidad de la alteración es máxima, solo se reconocen escasos granos de cuarzo del basamento original con senos de corrosión y aislados en una matriz arcillosa (sericita (2M₁) + caolinita (1T)) con seudofoliación resaltada por su tinción con goethita-hematita.

La arenisca cuarcosa heterométrica de la base de la secuencia sedimentaria está afectada por numerosas fracturas rellenas por goethita, sericita y pequeños agregados incoloros, de birrefringencia y cambio de relieve fuertes, posiblemente de calcita-siderita. El contenido de goethita disminuye rápidamente hacia arriba, pero aún así se reconocen venillas centimétricas de cuarzo secundario.

Por encima de esta arenisca aparece un nivel de escasos 20 cm de espesor, de color blanquecino, en donde los granos subredondeados de cuarzo, básicamente monocristalinos, están inmersos en una matriz de sericita (2M₁) \pm caolinita (1T) + rutilo. Los granos de cuarzo exhiben una corrosión y reemplazo parcial a total por parte de la sericita con textura en remolinos. Este crecimiento *in situ* de la sericita a menudo se vincula con la zona de contacto entre granos. Hacia arriba continúan las ortocuarzitas normales altamente cementadas con su típico crecimiento de cuarzo en continuidad óptica y sin reemplazo, donde seguramente la circulación de las soluciones fue más restringida.

CANTERA DEL NE DE LA ESTANCIA INCA HUASI

Es la más oriental de las localidades estudiadas, ubicada en uno de los cerritos al este de la sierra de la Juanita (Fig. 1, punto 8). El basamento fresco más cercano se halla a

unos 1000 m hacia el norte. Corresponde a una migmatita xenoblástica de composición granítica a granodiorítica. En ella el contenido de andesina es menor que el de microclino peritítico. La biotita está reemplazada pseudomórficamente por muscovita y el cuarzo frecuentemente se presenta en textura mirmequítica. El epidoto y la clorita presentes son minerales retrógrados del metamorfismo dinámico previo propio del basamento.

En el perfil de la cantera, de ~6 m de potencia, se observa un pasaje gradual desde el basamento parcialmente alterado de tonalidad rojiza hasta uno de tonalidad rojiza y verde, con ausencia total de los minerales originales (Fig. 2). En los 2 m de la base del perfil, el basamento se caracteriza por su textura granular relicta con cuarzo y biotita deformados. La intensidad de alteración se manifiesta con caries directas poco pronunciadas en cuarzo, pseudomorfosis de biotita por clorita, y carbonatización y sericitización de los feldespatos, de los cuales aún se reconoce el hábito y el maclado polisintético.

En los siguientes cuatro metros hacia la discordancia la alteración es más penetrativa. Las caries del cuarzo relicto son más significativas al igual que la presencia de venillas con sericita. La mineralogía de alteración está constituida por sericita (2M₁) + goethita \pm caolinita \pm turmalina \pm minerales AFS \pm clorita. Los cristales de turmalina (<150 μm) están dispuestos en soles, indicando cristalización 'in situ', y los minerales AFS dispersos en la matriz arcillosa. La clorita es escasa y está ausente hacia la parte superior del perfil. Los óxidos de hierro y/o titanio (posiblemente especularita) resultan de la alteración de la biotita. Los cristales de circón y apatito (< 250 μm) se conservan euhedrales, sin efectos claros de disolución. A un metro del contacto, parte del basamento alterado tiene una coloración verde pálida debido al dominio de la paragénesis arcillosa.

Inmediatamente por debajo de la discordancia los escasos cristales de cuarzo deformado están completamente aislados, con una intensa corrosión e inmersos en una matriz de sericita (2M₁-1M) + pirofilita + caolinita (1T) + rutilo + goethita + minerales AFS + turmalina. Los minerales AFS

son relativamente más abundantes, de mayor tamaño y se reconocen como cristalitas (< 5 µm) levemente amarillentos, de baja birrefringencia y con formas globulares o pseudocúbicas (Fig. 3 e).

La alteración se extiende hasta la base de la unidad sedimentaria en donde los granos de cuarzo epiclásticos están soportados por una matriz de alteración idéntica a la desarrollada en el basamento. Esta matriz de sericita (2M₁) + pirofilita + caolinita (1T) + rutilo + AFS, constituye el 60 % de la roca. Los granos de cuarzo son principalmente monocristalinos, subredondeados y con profundas caries normales rellenas con sericita-pirofilita en remolinos (Fig. 3 f). Es relevante hacer notar que el reemplazo total de los granos de cuarzo por parte de pirofilita, semejan intraclastos arcillosos cuando no lo son.

ASPECTOS GEOQUÍMICOS DE LA ALTERACIÓN EN EL BASAMENTO

Se aplicó el método de la isócona a los análisis sobre roca total del basamento del NE de la estancia Inca Huasi. Allí, las texturas del cuarzo deformado y en parte la mineralogía de alteración resultante, indicarían que se trata del mismo protolito en todo el perfil. Los resultados de los análisis químicos sobre roca total se presentan en la cuadro 1. Las figuras 4 a-c son gráficos que permiten determinar ganancias y pérdidas relativas de elementos químicos, cambios de volumen y masa producidos durante metasomatismo según la metodología de Gresens (1967), modificada por Grant (1986). Este tipo de diagramas surgen del ploteo de las concentraciones de óxidos y elementos químicos (componentes) de una roca fresca contra rocas con distinta intensidad de alteración. Los componentes inmóviles tienden a alinearse en una recta (isócona) que pasa por el origen de coordenadas, cuya pendiente es la relación fundamental de masas equivalentes antes y después de la alteración. La movilidad de los componentes restantes puede ser analizada a partir de la isócona surgida de un par de elementos relativamente inmóviles de comportamiento geoquímico disímil. La observación petrográfica indica que se han producido reemplazos pseudomórfi-

CUADRO 1: Análisis químicos de elementos mayores (% óxidos en peso) menores y trazas (ppm) sobre roca total del perfil de la cantera del NE de la estancia Inca Huasi.

Perfil del NE de la estancia Inca Huasi					
	0524 (Basamento fresco)	0824 (cloritización-carbonatización)	1024 (sericitización)	1124 (sericitización)	1324 (sericitización-pirofilitización)
SiO ₂	73,79	64,57	58,78	53,28	49,67
Al ₂ O ₃	13,2	16,32	17,06	17,9	34,99
Fe ₂ O ₃	2,23	2,62	11,84	16,15	1,25
TiO ₂	0,18	0,33	1,03	1,24	1,78
MnO	0,03	0,01	0,01	-	-
MgO	0,42	1,28	0,57	0,51	0,09
CaO	0,64	3,72	1,25	0,7	0,17
NaO ₂	2,36	0,63	0,26	0,32	2,33
K ₂ O	6,88	3,6	4,78	4,87	4,76
P ₂ O ₅	0,08	-	0,95	0,5	0,18
LOI	0,47	2,82	3,36	3,58	5,6
CO ₂		2,96			
TOTAL	100,3	97,58	99,89	99,04	100,8
Sc	5	3	14	24	16
Be	1	1	2	2	3
V	10	31	88	131	197
Cr	-	-	30	80	30
Co	3	8	19	16	2
Ni	-	-	20	50	-
Cu	-	-	10	30	20
Zn	30	40	90	140	-
Ga	15	16	17	21	31
Ge	1,6	0,8	2,7	3,1	2,5
As	-	-	-	-	-
Rb	206	101	125	139	98
Sr	226	187	62	65	546
Y	12,4	0,9	10,9	14,3	16,3
Zr	178	167	62	252	360
Nb	7,6	3,1	5,6	6,1	7,7
Mo	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-
In	-	-	-	-	-
Sn	3	-	-	-	-
Sb	0,9	0,9	1,2	1,5	0,9
Cs	10,1	5,5	8,2	12,6	2,8
Ba	648	747	771	823	705
La	93,4	6,63	36,3	43,3	200
Ce	188	10,8	88,1	86	506
Pr	20,8	1,06	9,68	10,1	47,4
Nd	67,2	3,30	37,9	37,9	158
Sm	10,1	0,43	6,42	6,78	27,1
Eu	0,643	1,31	1,60	2,10	6
Gd	6,22	0,27	4,82	5,97	16,8
Tb	0,63	0,03	0,52	0,66	1,97
Dy	2,60	0,13	2,36	2,78	7,58
Ho	0,44	0,03	0,42	0,49	0,99
S ETR	390,03	23,99	215,12	196,08	1166,87

Por debajo del límite de detección (-). Cada análisis de roca presenta una alteración dominante. La muestra 0524 es una migmatita de composiciones graníticas a granodioríticas (basamento fresco).

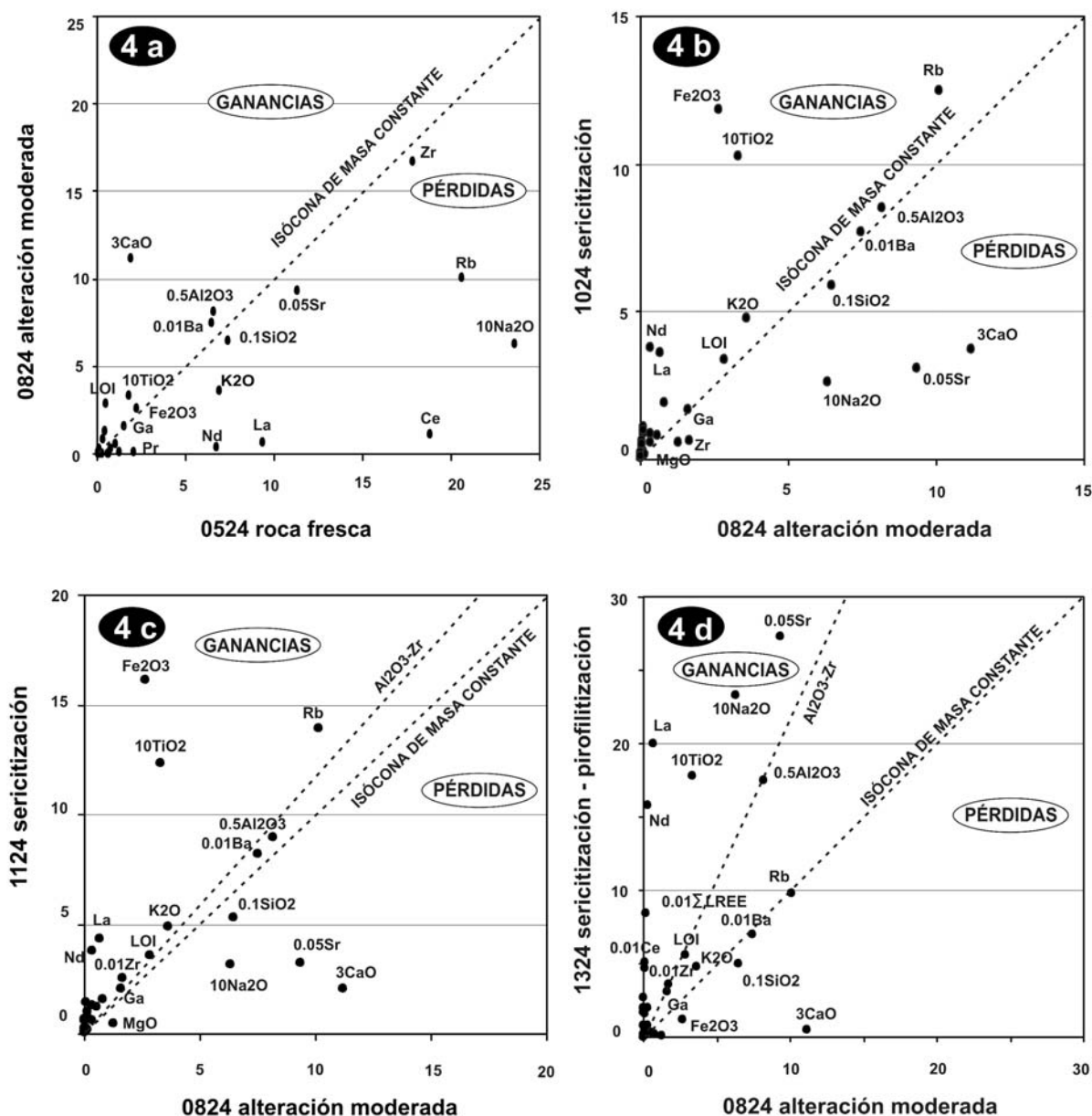


Figura 4: Diagramas de la isócona para el perfil de la cantera del NE de la estancia Inca Huasi. Comparación de elementos mayores, menores y traza de: (a) basamento fresco (0524) vs. basamento con alteración moderada (0824). (b) basamento sericitizado (1024) vs. el basamento con alteración moderada (0824). (c) basamento sericitizado a 3 m por debajo del contacto (1124) vs. basamento con alteración moderada (0824). (d) basamento sericitizado - pirofilitizado vs. basamento con alteración moderada (0824). Se muestra la isócona de masa constante y la de Al_2O_3 -Zr. Los óxidos están en % en peso y los elementos menores y trazas en 0,1 ppm. Se aplicaron además los factores de escala: 0.1SiO_2 , $0.5\text{Al}_2\text{O}_3$, $10\text{Na}_2\text{O}$, 3CaO , 10TiO_2 , 0.01Ba , 0.01Sr . Además en c y d: 0.01Zr , 0.01Ce y $0.01\ \Sigma\text{LREE}$.

cos de feldspatos y cuarzo por filosilicatos. Sin embargo, las reacciones de alteración involucradas implican un aumento de volumen que no fue estimado.

En el gráfico 4 a se analiza la migmatita fresca (0524) y la misma roca menos alterada de la base del perfil (0824) del NE de la estancia Inca Huasi. El contenido relativamente alto de Ce (188 ppm) de la roca fres-

ca señala la presencia de algún mineral accesorio portador de elementos de tierras raras, posiblemente allanita ó monacita. Cuando se tienen en cuenta las diferencias del contenido de volátiles expresado como LOI y el CO_2 de ambas muestras y la manera en que influyen sobre el tenor de SiO_2 (Grant, 1984), conjuntamente con el error de laboratorio en las determinaciones (0,01

%), la pérdida de dicho óxido resulta de orden inferior a la simple diferencia observada en los análisis. En cambio son destacables las ganancias de CaO y LOI y las pérdidas de los álcalis (Na_2O y K_2O) y de Rb. Estos hechos sumados al tenor de CO_2 de 2.96 % en peso son coincidentes con la carbonatización y cloritización observadas en la base del perfil.

Con el objetivo de determinar si existió ó no una pérdida de masa entre la base del perfil y la roca alterada del contacto se elaboraron las figuras 4 b-d. El diagrama de la isócona para el basamento de la base del perfil y aquel situado unos 2 m por encima se observa en la figura 4 b. Los componentes Al_2O_3 , Ba, SiO_2 , Ga se aproximan a la isócona de masa constante. El incremento en Rb, K_2O y LOI es coherente con la sericitización intensa de los feldespatos. Del mismo modo, la destrucción total de la biotita se manifiesta con un incremento relativo en la concentración de TiO_2 y Fe_2O_3 . La alteración de la plagioclasa y la escasez o ausencia de calcita es visible en la pérdida de Sr, Na_2O y CaO, lo cual reflejaría por el contrario, la movilidad y lixiviación de esos componentes.

En las figuras 4 c y d se confrontan los componentes del basamento de la base (0824), con aquellos del basamento que está a ~3 m por debajo del contacto y aquellos del basamento inmediato al contacto. Los componentes Al_2O_3 y Zr son considerados relativamente inmóviles, ya que el Al^{+3} queda retenido por la argilización (sericitización - pirofilitización) y el circón se preservó inalterado. Este par geoquímico de comportamiento disímil se ajusta a una isócona cuya pendiente se incrementa cada vez más con el incremento de la intensidad de alteración. Como resultado, desde el basamento de la base del perfil a la discordancia hay una pérdida de masa aproximada al 54%, calculada mediante la fórmula de cambio de masa de Grant (1986) a partir de la pendiente de la isócona Al_2O_3 -Zr (~2,14). Esto sugiere una mayor porosidad adquirida, la cual favoreció la circulación de los fluidos en la proximidad de la discordancia. La pseudofoliación que comúnmente adquiere el basamento más alterado estaría vinculada a esa pérdida de masa, al aumento de volumen generado por las reacciones de reemplazo y al aplastamiento ejercido por la secuencia sedimentaria sobre un material que perdió su tenacidad original.

En el cuadro 1 se observa que La, Ce y Sr alcanzan valores de 200, 506 y 546 ppm, respectivamente, y que las tierras raras totales se incrementan hacia los niveles superiores (Cuadro 1 y Fig. 4 d). Igualmente, la abundancia en minerales AFS en el basa-

mento alterado se incrementa hacia la discordancia. Esto indicaría que la composición de los minerales AFS, identificados por petrografía (Fig. 3 e) variaría entre los extremos florencita ($\text{REE Al}_3\text{H}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$) y svanbergita ($\text{SrAl}_3(\text{PO}_4/\text{SO}_4)(\text{OH})_6$), composiciones ya establecidas por datos cuantitativos de microsonda en áreas cercanas (Dristas *et al.* 2003). En este mismo gráfico se observa que para la muestra de basamento sericitizado y pirofilitizado de la discordancia, la concentración de Na_2O cae en el campo de las ganancias con valores cercanos a los de la roca fresca, mientras que K_2O está en el campo de las pérdidas. Esos valores pueden atribuirse a la existencia de paragonita por comparación con resultados cuantitativos inéditos de microsonda que permitieron identificar ese mineral en el basamento intensamente sericitizado y pirofilitizado de la discordancia del Cerrito de la Cruz.

ANÁLISIS DE INCLUSIONES FLUIDAS

Se analizaron las inclusiones fluidas (IF) del cuarzo de las venillas que atraviesan la base del primer miembro ortocuártico de la Formación La Tinta, en el cerro del Medio (Fig. 3 a) y las inclusiones fluidas del cuarzo secundario de la silicificación presente en el basamento del norte de la sierra de La Juanita (Fig. 3 d).

En la base de la unidad sedimentaria, al contacto con el basamento ígneo-metamórfico alterado, hay profundas venillas de cuarzo con textura en peine. De acuerdo a la disposición espacial y relación con los cristales hospedantes se reconocen IF primarias y secundarias (Roedder 1984). Las primarias se hallan aisladas o agrupadas sin arreglo direccional. Las secundarias atraviesan tanto a los granos epiclásticos de cuarzo con su cemento sintaxial silíceo, como así también a los cristales subhedrales que rellenan las venillas.

No existen grandes diferencias entre las IF primarias del cuarzo de venillas y aquellas secundarias. Todas ellas son bifásicas (L + V) a temperatura ambiente, con grados de llenado entre 0,8 - 0,85 y de formas irregulares. El rango de temperaturas de homogeneización (Th) a líquido se ubica entre 100

- 190 °C y la salinidad entre 8,8 - 5,5 % (Eq. en peso de ClNa).

En el cuarzo secundario del basamento del norte la sierra de La Juanita se alojan inclusiones fluidas con características similares a las anteriores. No se reconocen inclusiones fluidas alineadas, sino en grupos o bien aisladas. Las temperaturas de homogeneización obtenidas van desde los 90 °C a los 165 °C para las IF del cuarzo secundario del basamento alejado unos 2 m de la discordancia. Su salinidad varía entre 8,8 - 6,5 % (Eq. en peso de ClNa).

La estimación de la presión de entrapamiento no es posible debido a la ausencia de evidencias de ebullición. Del mismo modo la estimación a partir de asumir un gradiente térmico desconocido puede llevar a graves errores de interpretación. Sin embargo, las texturas en el cuarzo, como el relleno de fracturas abiertas, indican que las profundidades de cristalización habrían sido relativamente someras y por lo tanto los valores medidos pueden tomarse como referencia.

DISCUSIÓN

Dos localidades clásicas han sido materia de controversia por la definición del origen de la alteración manifiesta en la zona de discordancia basamento-secuencia sedimentaria, en las sierras de Tandil. Una de ellas es el cerrito de La Cruz, inmediatamente al este de Barker (Fig. 1), y la otra es la zona oeste de San Manuel, ubicada a unos 50 km al este de la anterior. En el basamento del área de San Manuel, Zalba *et al.* (1982) mencionan pirofilita generada in situ por procesos hidrotermales. Al explicar el elevado grado de cristalinidad de illita en la secuencia sedimentaria de ese sector, Regalía (1987) no considera la paragénesis de alteración hidrotermal arcillosa de alta temperatura, las texturas de reemplazo y la zonación mineral manifiesta, previamente notificadas por Dristas y Frisicale (1984), para el basamento y la unidad sedimentaria. Posteriormente, Zalba y Andreis (1998) entienden que la presencia de illita, illita-esmectita, caolinita y anatasa atestiguan una meteorización avanzada en las rocas migmatíticas del basamento, con generación de paleosuelos, y proponen un origen metamórfico para la sericita-

pirofilita previamente formada. Del mismo modo, sugieren un origen detrítico para la illita, illita-esmectita, e intraclastos pirofiliticos, por ellos reconocidos en la secuencia sedimentaria, mientras que procesos diagenéticos sobrepuestos habrían generado crecimientos secundarios, concreciones de Fe_2O_3 y SiO_2 , pirita, goethita, etc.

En el cerrito de la Cruz, el otro sector clásico de estudio, Di Paola y Marchese (1974) argumentan que la alteración principalmente pirofilitica, pero también sericitica-caolinítica, del basamento se debió a hidrotermalismo. En esa misma localidad, Frisicale (1991) Frisicale y Dristas 1993, Dristas *et al.* 2003 identificaron una zonación de alteración hidrotermal vertical en el basamento desde el contacto. Según dichos autores, una zona dominada por clorita + esmectita se ubicaría en las partes más alejadas del contacto, mientras que una zona dominada por sericita + pirofilita \pm alunita se ubicaría en las partes más cercanas, donde se produjo la mayor circulación de fluidos. Así mismo, estos autores reconocen que la zonación de alteración desde el contacto se hace extensiva a la base de la secuencia sedimentaria suprayacente y que es asimétrica debido a la diferente reactividad de las rocas afectadas.

En los ocho perfiles aquí estudiados hay texturas y asociaciones minerales de alteración generadas in situ que son comunes al Complejo Buenos Aires y a la base de la Formación La Tinta. Entre ellas están las caries directas de disolución en cuarzo (Figs. 3b y 3f), con la consecuente precipitación de filosilicatos (sericita-pirofilita (en remolinos) + clorita + caolinita) y óxi-hidróxidos de hierro (especularita y goethita), precipitación de minerales AFS (Fig. 3e), turmalina en soles, finos cristales de anatasa-rutilo. Todos estos elementos apuntan a procesos sucedidos con posterioridad a la litificación de la unidad sedimentaria.

Un mineral determinativo de las paragénesis de alteración halladas es la pirofilita, ya que crece típicamente en ambientes hidrotermales ó durante condiciones de metamorfismo anquizonal (Evans y Guggenheim 1988). Las temperaturas mínimas equivalentes para la reacción de progrado $1 \text{ caolinita} + 2 \text{ cuarzo} = 1 \text{ pirofilita} + 1 \text{ H}_2\text{O}$ fueron establecidas alrededor de 240-260

$^{\circ}\text{C}$, calculadas a partir del sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (Frey, 1987). Según Hemmi y Matsuda (1975), la temperatura mínima de formación de pirofilita puede ser estimada alrededor de los 260 $^{\circ}\text{C}$, independientemente de la presión de vapor. Sin embargo, en equilibrio con sílice amorfa la pirofilita puede formarse a temperaturas de hasta 150 $^{\circ}\text{C}$ (Reyes 1990). Las paragénesis de alteración aquí estudiadas resultan de una variación mineralógica espacialmente brusca en sentido vertical (Fig. 2) y restringida a la zona de discordancia. Asociaciones minerales que incluyen clorita, pirofilita, sericita y minerales AFS han sido ampliamente reconocidas en alteraciones hidrotermales de zonas de discordancia (Lorilleux *et al.* 2002, Beaufort *et al.* 2005 a, Beaufort *et al.* 2005 b). De esta manera, las texturas de reemplazo y las paragénesis minerales halladas y su disposición espacial permiten prescindir del metamorfismo de progrado para explicar la génesis de las mismas. Por otra parte es difícil considerar un área de metamorfismo regional reducida a escasos metros de desarrollo, que curiosamente sólo aparece cerca del contacto con la cubierta sedimentaria y que no ha sido reconocido en otras áreas de Tandilia.

Una correlación positiva entre la alteración hidrotermal y la concentración de tierras raras por la presencia de minerales AFS ha sido anteriormente manifestada para las rocas alteradas de la discordancia del cerrito de la Cruz (Dristas *et al.* 2003), cerros Chico y del Medio (Dristas y Martínez en prensa). Para este último caso, la concentración de Ce supera la 3000 ppm y la sumatoria de tierras raras supera las 4600 ppm, tanto para el basamento como para las sedimentitas del contacto, indicando un proceso que afectó a ambas unidades. La identificación de minerales AFS por petrografía es confirmada por el incremento en tierras raras. En el perfil del NE de la estancia Inca Huasi la concentración en tierras raras se triplica hacia la discordancia. Allí el tenor en Ce supera las 500 ppm, la sumatoria de tierras raras alcanza las 1700 ppm y la abundancia de minerales AFS están claramente relacionadas a esos valores.

La lixiviación de sílice, tanto en el basamento como en la base de la secuencia sedimentaria, es evidenciada por las texturas de dis-

olución en cuarzo y en la disminución de ésta respecto del protolito original (Fig. 4 a y Cuadro 1). Este frente de alteración generó una mineralogía de alta temperatura (~ 260 $^{\circ}\text{C}$) que incluye pirofilita + sericita ($2\text{M}_1\text{-1M}$) + especularita (titanoematita) \pm minerales AFS \pm turmalina \pm rutilo (?), y es alcanzada en la discordancia ó próxima a esta (NE de la estancia Inca Huasi, N de La Siempre Verde, N de cerro Chico y cerro Gruta de Oro). La formación de pirofilita y de minerales AFS es más estable en ambientes de pH bajo (Stoffregen y Alpers 1987), que coincide con la zona de mayor circulación de fluidos y la mayor porosidad adquirida, por la mayor lixiviación de los componentes originales.

Con el alejamiento de la zona de contacto, las soluciones fueron parcialmente neutralizadas por la incorporación de elementos alcalinos y alcalino-térreos provenientes de la destrucción de los feldspatos y de menor temperatura. Allí la mineralogía desarrollada fue sericita (1M) + clorita + calcita \pm anatasa-rutilo + caolinita (1T) \pm cuarzo. Los óxidos de Ti, rutilo y anatasa, son ubicuos en el desarrollo de cada perfil. Sin embargo, estos están concentrados hacia la discordancia, donde la alteración fue más intensa. Esto revela que el Ti tiene una inmovilidad relativa (Fig. 4) y que este elemento puede ser retenido y concentrado en forma de anatasa por fluidos hidrotermales (Yau *et al.* 1987). El titanio liberado de la biotita, en zonas de alteración caolinítica del basamento de las sierras de Balcarce, fue distribuido y cristalizado en forma de óxidos por la acción de fluidos hidrotermales (Di Paola 1988).

Las inclusiones fluidas en cuarzo secundario indican temperaturas de formación menores a las esperadas para la etapa de mayor lixiviación, en la cual hubo un incremento de la porosidad (paragénesis mineral con pirofilita). Las texturas abiertas (relleno de venillas) de ese cuarzo secundario son indicativas de bajas presiones y de la posterioridad de la precipitación de sílice, respecto de la etapa de mayor lixiviación de elementos.

CONCLUSIONES

- La circulación de fluidos hidrotermales ascendentes y su migración por la discor-

dancia entre el Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta adquirió un desarrollo regional, generado a partir de múltiples focos de alteración. Aunque la alteración presentó ciertas variaciones locales, en general se estableció una zonación de alteración asimétrica desde la discordancia, con una intensidad creciente hacia el sector de mayor circulación de fluidos en la discontinuidad litológica. Esta zonación de alteración incluye cloritización y carbonatización (frente débilmente alcalino a neutro) en los extremos más alejados del contacto; y caolinitización, sericitización y pirofilitización (frente más ácido) en las partes centrales de los perfiles, donde fueron alcanzadas mayores temperaturas (~ 260 °C).

- En conjunto el análisis de inclusiones fluidas en cuarzo secundario apunta a soluciones acuosas homogéneas, de moderada a baja salinidad y de temperaturas por debajo de los 190 °C. La precipitación de cuarzo queda relegada a una etapa póstuma respecto del pico térmico de alteración ó a sectores más alejados del foco térmico, en un ambiente relativamente somero. El norte de la Sierra de La Juanita es uno de esos sectores donde las soluciones, con temperaturas entre 90° y 165°C, produjeron la primera silicificación reconocida del basamento, probablemente por la baja temperatura relativa de la soluciones hidrotermales y la consecuente baja porosidad adquirida, que impidió una lixiviación de la sílice más eficiente.

- Las variaciones químicas observadas en las rocas afectadas por la alteración están vinculadas a procesos aloquímicos. Las evidencias reunidas hacen prescindir de modelos genéticos compuestos, que incluyen procesos tales como: hidrotermalismo, meteorización, sedimentación, diagénesis y metamorfismo sobreimpuestos en espacios reducidos a escasos metros, ya que por sí solo el modelo hidrotermal explica todas las texturas y paragenesis minerales presentes en la zona de discordancia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires (CIC), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) y a la Universidad Nacional del Sur (UNS) por el equipamiento y fondos brindados en la realización del presente trabajo. Asimismo los autores agradecen a la compañía Rothenberger S.C.A por el acceso a las canteras del área estudiada a los revisores de este trabajo que con sus correcciones objetivas mejoraron la presentación del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Beaufort, D., Patrier, P. y Laverret, E., Bruneton, P. y Mondy, J. 2005. Clay alteration associated with Proterozoic unconformity - type uranium deposits in the East Alligator Rivers Uranium Deposits, Northern Territory, Australia. *Economic Geology* 100: 515-536.
- Gaboreu, S., Beaufort, D., Vieillard, P., Patrier, P. y Bruneton, P. 2005. Aluminum phosphate-sulfate minerals associated with Proterozoic unconformity-type uranium deposits in the east Alligator River Uranium Field, Northern Territories, Australia. *The Canadian Mineralogist* 43: 813-827.
- Cingolani, C.A. y Dalla Salda, L. 2000. Buenos Aires cratonic region. En Cordani, U., Milani, E., Thomaz Filho, A., y Campos D. (eds.) *Tectonic evolution of South America*. 31° International Geological Congress, 139-146, Río de Janeiro.
- Dalla Salda, L.H. e Iñiguez Rodríguez, M. 1979. "La Tinta", Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 539-550, Neuquén.
- Di Paola, E. y Marchese, H.G. 1974. Relación entre la tecto-sedimentación, litología y mineralogía de arcillas del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta (prov. de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 5(3-4): 45-58, Buenos Aires.
- Di Paola, E. 1988. Comportamiento del titanio en zonas con alteración caolinitica: Balcarce, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 19(1/4): 73-78.
- Dristas, J.A. y Frisicale M.C. 1984: Estudio del yacimiento de arcillas del Cerro Reconquista, San Manuel, Sierras Septentrionales de Buenos Aires. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 507-521, Buenos Aires.
- Dristas, J.A., Frisicale, M.C. y Martínez, J.C. 2003. High-REE APS minerals associated with advanced argillic alteration in the Cerrito de la Cruz deposit, Barker, Buenos Aires province, Argentina. *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, Sb (Festschrift Behr)*, 1-6.
- Dristas, J. A. y Martínez, J. C. 2007. Hydrothermal low temperature Late Proterozoic unconformity related iron deposits, north Barker area, Tandilia Ranges, Argentina. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie (en prensa)*.
- Evans, B.W. y Guggenheim, S. 1988. Talc, pyrophyllite, and related Minerals. En *Hydrous Phyllosilicates (exclusive of micas)*. Bailey, S.W. (ed.) *Reviews in Mineralogy* 19(8): 225-280.
- Frey, M. 1987. Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks low temperature metamorphism (Ed. M Frey), Blackie and Sons, 9-58, Glasgow.
- Frisicale, M.C. 1991: Estudio de algunos yacimientos de arcilla originados por actividad hidrotermal, en las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, (inédito), 217 p., Bahía Blanca.
- Frisicale, M.C. y Dristas, J.A. 1993. Alteración hidrotermal en el contacto entre el basamento y la secuencia sedimentaria, en el cerrito de la Cruz, Tandilia. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Explotación de hidrocarburos, Actas 5: 222-228. Mendoza.
- Frisicale, M.C. y Dristas, J.A. 2000: Génesis de los niveles arcillosos de Sierra de La Tinta, Tandilia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55(1-2): 3-14.
- Grant, J. A. 1986. The isocon diagram- A simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology* 81: 1976-1982.
- Gresens, R. L. 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology* 2: 47-55.
- Harrington, H. 1956. Argentina. *Handbook of South American Geology*. Geological Society of America, Jenks, W.F. (ed.) *Memoir* 65: 129-165, Nueva York.
- Hemmi, K y Matsuda, H. 1975. Stabilization relationships between kaolinite and pyrophyllite in "Roseki" deposits Japan. *Contribution to Clay mineralogy in honour of Professor Toshio Sudo*, 153-161.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming mine-

- als. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Leveratto, M. A. y Marchese, H.G. 1983. Geología y estratigrafía de la Formación La Tinta (y homólogas) en el área clave de Sierra de La Tinta-Barker-Villa Cacique-Arroyo Calaveras, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 235-247.
- Lorilleux, G., Cuney, M., Jébrak, M., Rippert, J.C., Portella, P. 2002. Chemical brecciation processes in the Sue unconformity - type uranium deposits, Eastern Athabasca Basin (Canada). *Journal of Geochemical Exploration* 80: 241-258.
- Manassero, M.J. 1986. Estratigrafía y estructura en el sector oriental de la localidad de Barker, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(3-4): 375-385.
- Marchese, H.G. y Di Paola, E. 1975. Miogeosinclinal Tandil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30(2): 161-179.
- Poiré, D.G. 1987. Mineralogía y sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el núcleo septentrional de las sierras homónimas, Olavarría, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 494, (inédito), 271 p., La Plata.
- Poiré, D.G. 1993. Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 1-11, Mendoza.
- Poiré, D.G. y Spalletti, L.A. 2005. La cubierta sedimentaria Precámbrica-Paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. En de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.) *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 4: 51-68, La Plata.
- Regalía G.M. 1987. Caracteres Geológicos del área de San Manuel, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42(1-2): 143-152.
- Reyes, A.G. 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 43: 279-309.
- Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions. En Ribbe, P. H. (ed.) *Reviews in Mineralogy* 12: 644 p., Michigan.
- Stoffregen, R.E. y Alpers, C.N. 1987. Woodhouseite and svanbergite in hydrothermal ore deposits: products of apatite destruction during advanced argillic alteration. *Canadian Mineralogist* 25: 201-211.
- Yau, Y.C., Peacor, D.R. y Essene, E.L. 1987. Authigenic anatase and titanite in shales from the Salton Sea Geothermal Field, California. *Neues Jahrb Mineral Monatsh* 1987: 441-452.
- Zalba, P.E., Andreis, R.R. y Lorenzo, F.C. 1982. Consideraciones estratigráficas y paleoambientales de la secuencia basal eopaleozoica, en Cuchilla de las Águilas, Barker, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 389-409, Buenos Aires.
- Zalba, P.E., Andreis, R.R. e Iñiguez, A.M. 1988. Formación Las Águilas, Barker, Sierras Septentrionales de Buenos Aires, nueva propuesta estratigráfica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 43(2): 198-209.
- Zalba, P.E., Poiré, D.G., Andreis, R.R. y Iñiguez Rodríguez, A.M. 1992. Precambrian and lower Paleozoic records and paleosurfaces of the Tandilia system, Buenos Aires province, Argentina. En Schmitt, J. y Gall, C. (eds.) *Mineralogical and geochemical records of paleoweathering*. *Mémoire des Sciences de la Terre* 18: 93-113.
- Zalba, E.P. y Andreis, R.R. 1998. Basamento saprolitizado y secuencia sedimentaria suprayacente en San Manuel, Sierras septentrionales de Buenos Aires, Argentina. 7° Reunión Argentina de sedimentología, Actas: 143-153, Salta.

Recibido: 8 de octubre, 2006

Aceptado: 1 de junio, 2007