

## Brechamiento magmático e hidrotermalismo asociado en Puesto de los Caminos, batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Sierra Norte de Córdoba.

Hugo A. MILLONE<sup>1,2</sup>, Raúl LIRA<sup>1,3</sup> y María F. POKLEPOVIC<sup>1</sup>

**Abstract.** *MAGMATIC BRECCIATION AND ASSOCIATE HIDROTHERMALISM IN THE PUESTO DE LOS CAMINOS, SIERRA BATOLIT NORTE, AMBARGASTA, SIERRA NORTE DE CÓRDOBA.* A breccia body (1.5 km<sup>2</sup>) associated to semicircular structures outcrops near Puesto de Los Caminos, in the Sierra Norte de Córdoba (29° 46' S – 64° 06' W). Its genesis and classification was reinterpreted on the basis of new field, petrologic and geochemical data. The breccia is vertically zoned, classified as a “jigsaw-puzzle” breccia in its lower level, “flour” breccia in the intermediate topographic level and “collapse” breccia in the upper level. This textural zoning also applies to lithology, which changes from a dominant rhyolite-dacite porphyry at the base, to a heterolithic chaotic breccia in the middle zone (composed of porphyries, country-rock phyllites and sandstones), and essentially sandstones at the top of the hills. The Puesto de Los Caminos breccia hosts mineral assemblages that represent hydrothermal alteration-mineralization events that predate or postdate brecciation. Pre-brecciation alteration is structurally-controlled, related to mylonitic porphyries, and resembles that of Cu-porphyry systems; this alteration style is characterized by Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Cd-geochemical anomalies. Pre-brecciation alteration is potassic, represented by secondary biotite and magnetite, associated with quartz-pyrite-chalcopyrite, and quartz-chalcocite, which occur disseminated or in veinlets. Post-brecciation alteration assemblages are pervasive though erratically distributed. The most conspicuous alteration phases are hematite (as breccia cement or pervasive into clastic fragments), kaolinite-illite, and calcite. Low-temperature, vug-filling or veinlet-forming phases like quartz (chalcedony), barite, Mn-Ba-oxides, goethite, and minor fluorite clearly resulted from post-brecciation fluids of localized circulation, though the precipitation age remains to be established. The age of brecciation is constrained to the extensional final stages of the Pampean Orogeny during the Late Cambrian-Early Ordovician, closely contemporaneous to the intrusion of the most evolved postcollisional granitoids. Some of the post-brecciation hydrothermal phases (i.e., Mn-Oxides, barite) could be related to the Cretaceous manganese-mineralization event of regional magnitude.

**Resumen.** *BRECHAMIENTO MAGMÁTICO E HIDROTHERMALISMO ASOCIADO EN PUESTO DE LOS CAMINOS, BATOLITO DE SIERRA NORTE-AMBARGASTA, SIERRA NORTE DE CÓRDOBA.* En Puesto de los Caminos, Sierra Norte de Córdoba (29° 46' S – 64° 06' O) aflora un cuerpo de brecha de ~1,5 km<sup>2</sup>, asociado a estructuras semicirculares, cuya génesis y clasificación han sido reinterpretadas sobre la base de nueva evidencia de campo, petrológica y geoquímica. La brecha Puesto de Los Caminos tiene una zonación vertical que muestra en sus niveles inferiores una brecha de tipo “craquelada” o “en rompecabezas”, que pasa hacia arriba a una brecha de “harina de falla” y, en sus zonas cuspidales, constituye una “brecha de colapso”. Esta variación textural también se manifiesta litológicamente, pasando de pórfido riolítico-dacítico dominante en la zona inferior, a componentes heterolíticos en su zona caótica media (pórfidos, granitos, filitas y areniscas), para transformarse en una brecha dominante de areniscas en las crestas de los afloramientos. La brecha Puesto de Los Caminos aloja productos de alteraciones y mineralizaciones previas y posteriores al desarrollo de la estructura. Entre las de origen pre-brechamiento se destacan alteraciones típicas de sistemas porfíricos, con control estructural y vinculadas a zonas miloníticas, caracterizadas por anomalías geoquímicas definidas por la asociación Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Cd. La alteración pre-brechamiento es potásica, manifiesta en la paragénesis biotita secundaria- magnetita, a la cual se asocian cuarzo-pirita-calcopirita y cuarzo-calcosina, disseminados o en venillas. Las alteraciones post-brechamiento son pervasivas, aunque de distribución errática, caracterizadas por la misma asociación geoquímica. Las más conspicuas son la hematización (cemento de brecha o pervasiva en clastos), la caolinización (+ illita) y la carbonatación. Fases hidrotermales de baja

<sup>1</sup> Museo de Mineralogía y Geología “Dr. A. Stelzner”, F.C.E.F. y N., Universidad Nacional de Córdoba, Velez Sarsfield 299, X5000JJC, Córdoba, Argentina.

E-mail: [hmillone@gmail.com](mailto:hmillone@gmail.com); [rlira@com.uncor.edu](mailto:rlira@com.uncor.edu); [fpoklepovic@com.uncor.edu](mailto:fpoklepovic@com.uncor.edu)

<sup>2</sup> Secretaría de Minería de Córdoba. Hipólito Irigoyen 401, 5000, Córdoba, Argentina

<sup>3</sup> CONICET

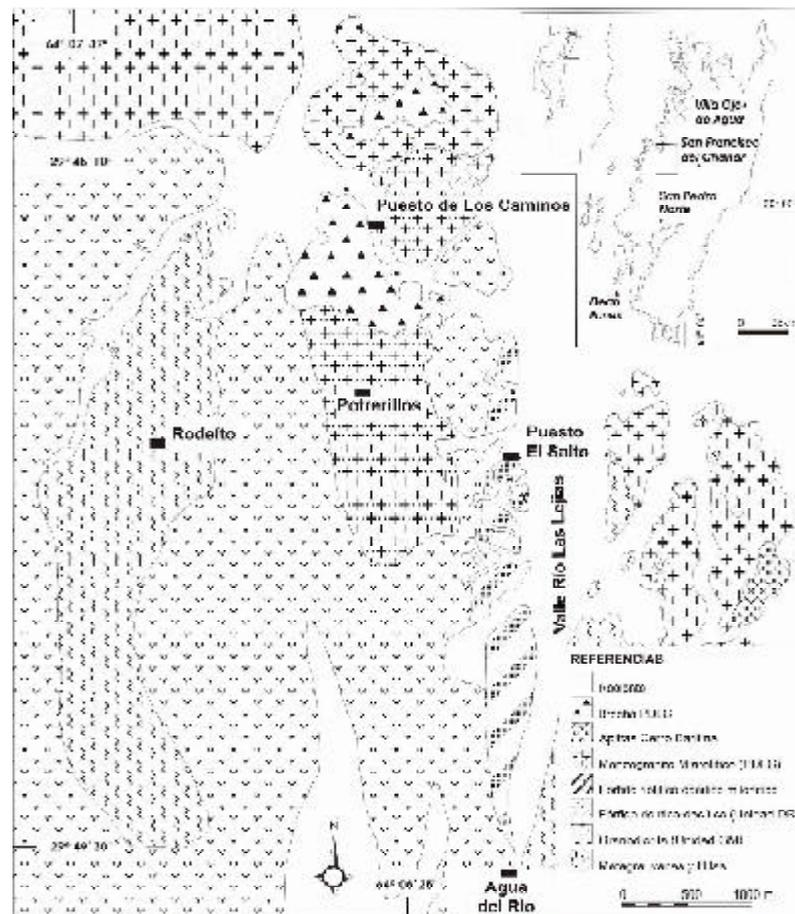
temperatura como baritina, óxidos de manganeso, cuarzo (calcedonia) y escasa fluorita, que rellenan cavidades o forman venillas, son de deposición post-brechamiento aunque de edad no determinada. La formación de la brecha estaría vinculada a las etapas póstumas de la Orogenia Pampeana, contemporáneas con la intrusión de los granitoides más evolucionados de edad cambro-ordovícica. Algunas fases hidrotermales alojadas en esta brecha (i.e., óxidos de Mn, baritina), podrían vincularse a la mineralización regional de manganeso de edad cretácica.

**Keywords:** Magmatic breccia. Collapse structure. Subvolcanic. Hydrothermal alteration. Mineralization. Cambrian-Ordovician. Sierra Norte. Córdoba.

**Palabras clave:** Brecha magmática. Estructura de colapso. Subvolcánico. Alteración hidrotermal. Mineralización. Cambro-Ordovícico. Sierra Norte. Córdoba

## Introducción-Antecedentes

En el área centro-occidental de la Sierra Norte de Córdoba, más precisamente en el paraje Puesto de Los Caminos ( $29^{\circ} 46' S - 64^{\circ} 06' W$ ) aflora una estructura de características muy peculiares, única en su tipo en todo el ámbito del extenso batolito ( $\sim 8.000 \text{ km}^2$ ) de Sierra Norte-Ambargasta (Fig. 1).



**Fig. 1:** Principales litologías del batolito de Sierra Norte-Ambargasta en su sector centro-occidental. Localización del sistema de brecha Puesto de Los Caminos.

La primera mención sobre esta compleja estructura se encuentra en Lucero (1969), quien la describe en su hoja geológica como “brecha de falla” en el epígrafe de una fotografía del lugar (ver su figura 4, lámina II). Millone *et al.* (1994) reinterpretan esta estructura, asignándola a una brecha de colapso compuesta por fragmentos de riolitas, areniscas, metamorfitas de bajo grado y granitos, controlada por fracturas de diseño circular. Lira *et al.* (1997 a) mantienen el criterio genético de colapso, sumando estudios petrográficos de las diferentes litologías que participan de los fragmentos y megafragmentos de la brecha, estudios de sulfuros relictos y de geoquímica de elementos metalíferos y de trazadores de exploración. Millone (2004) relaciona la estructura con un conducto o tubo (“pipe”) subvolcánico o bien con un sistema caldérico, clasificando a la brecha como magmática y, desde el punto de vista de sus componentes litológicos, en brecha en rompecabezas o craquelada (nivel inferior), brecha de harina de roca (nivel medio) y brecha de colapso (nivel superior). Miró y Saap (2005) atribuyen la estructura a una brecha formada por depósitos coluviales de talud (brecha de talud), integrada por fragmentos de sedimentitas neopaleozoicas de la Fm. La Puerta, cubiertos por sedimentos fluviales del Cretácico inferior pertenecientes a las denominadas “Areniscas conglomerádicas rojas” de la Fm. Cerro Colorado (Lucero, 1969).

Esta contribución pretende dar a conocer nueva información y reinterpretar algunos aspectos morfológico-texturales y genéticos de la brecha Puesto de Los Caminos, fundamentalmente a partir de datos de campo, petrológicos y geoquímicos.

## Geología regional y local

El batolito de Sierra Norte – Ambargasta (en adelante SNAB) es un cuerpo complejo conformado por granitoides calcoalcalinos representativos de un magmatismo tipo I, los que tienen como encajonante a rocas metasedimentarias y sedimentarias que aparecen como grandes colgajos o xenolitos. Miró y Saap (2005) resumen la información sobre las unidades principales del basamento pre-ígneo en las formaciones: Pozo del Macho, que incluye esquistos cuarzo-biotíticos inyectados, gneises tonalíticos, anfibolitas y migmatitas; Calizas Jasimampa, con calizas cristalinas granulosas y anfibolitas asociadas; La Lidia-Símbol Huasi, formada por filitas cuarcíferas, pizarras, lutitas, subgrauvacas y conglomerados submetamórficos; La Clemira, con cornubianitas cordieríticas biotíticas y El Escondido, integrada por areniscas cuarcíticas conglomerádicas finas, parcialmente arcósicas.

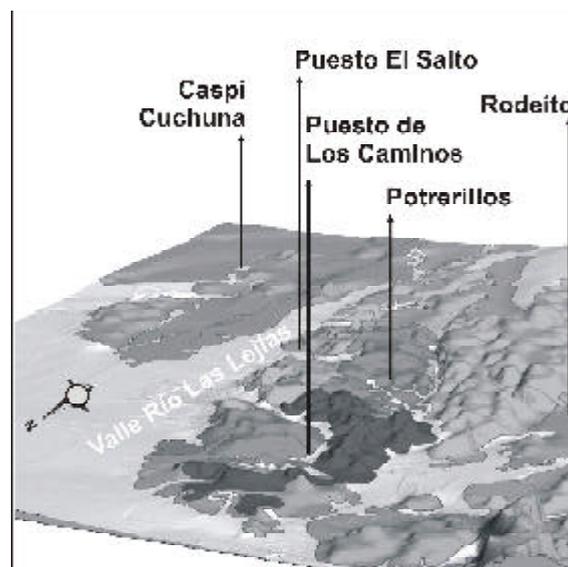
Han sido varios los autores que han estudiado distintos sectores del batolito haciendo hincapié en aspectos geológicos regionales, petrológicos, estructurales, geoquímicos, geocronológicos, geotectónicos y vinculados a sistemas de alteración-mineralización. Entre otros, Castellote (1982,1985), González *et al.* (1985), Bonalumi (1988), Moreno *et al.* (1988), Millone *et al.* (1994), Lira *et al.* (1995), Lucero *et al.* (1995), Lira *et al.* (1996, 1997 a y b), Massabie *et al.* (1997), Rapela *et al.* (1998), Sims *et al.* (1998), Koukharsky *et al.* (1999), Martino *et al.* (1999), Ramé *et al.* (1999), Leal (2002), Martino y Guerreschi (2002), Poklepovic y Lira (2002, 2005), Leal *et al.* (2003), Millone *et al.* (2003 a y b), Millone (2004), Miró *et al.* (2004), O’Leary (2004), Poklepovic *et al.* (2005) y O’Leary *et al.* (2006). En estos trabajos pueden consultarse varias referencias bibliográficas no citadas en esta contribución.

Lira *et al.* (1996, 1997 b) establecen una secuencia intrusiva calcoalcalina metaluminosa a débilmente peraluminosa en el área centro-occidental del batolito, con enclaves dioríticos y tonalíticos como los representantes más primitivos, los cuales se encuentran incluidos en el basamento granodiorítico-monzogranítico regional, al que se denominó unidad GM. El cuerpo subvolcánico Cerro de los Burros (Lucero *et al.* 1995), de ~150 km<sup>2</sup> de extensión, está constituido

por pórfidos riolíticos y en menor proporción dacíticos, formando parte de la denominada unidad DR, cogenética con la unidad GM, y agrupadas como serie GM-DR. Estas litologías proterozoicas a cámbricas de amplia distribución areal, son representativas del sector occidental del batolito (colectivamente “Granito Ambargasta”, Miró y Saap, 2005) y fueron interpretadas por Lira *et al.* (1997 b) como intrusivos precolisionales del arco magmático de la Sierra Norte-Ambargasta. Plutones algo más evolucionados y con mayor índice de peraluminosidad son característicos del borde oriental del batolito y han sido atribuidos a un estadio tardiocolisional (Elortegui Palacios, 2002; agrupados como “Granito Ojo de Agua”, Miró y Saap, 2005). Granitoides félsicos más recientes (cámbrico-ordovícicos) que intruyen a las rocas de la serie GM-DR en estadios postcolisionales incluyen a monzogranitos miarolíticos evolucionados (unidad Puesto de los Caminos, “PDLC”, Lira *et al.*, 1997 b), granitos alcalifeldespáticos (“Granito Calasuya”, Elortegui Palacios, 2002; Elortegui Palacios *et al.*, 2006), aplitas sienograníticas de la unidad Cerro Baritina (“CB”, Lira *et al.*, 1997 b) y un conjunto variado de pórfidos riolíticos y dacíticos (Rapela *et al.*, 1991; Correa, 2003; O’Leary *et al.*, 2006). Los lamprófiro calcoalcalinos estudiados por O’Leary (2004) y O’Leary *et al.* (2006) también son de ambiente extensional postcolisional completando el cierre del ciclo magmático de la Orogenia Pampeana en el Ordovícico temprano.

En las inmediaciones de la brecha Puesto de Los Caminos, las granodioritas–monzogranitos de la unidad GM son intruidas por rocas de la unidad DR, siendo observables los contactos magmáticos en el sector norte y este del cuerpo Cerro de los Burros. Posteriormente se intruyen los monzogranitos Puesto de Los Caminos y Potrerillos, como cuerpos epizonales de reducidas dimensiones, habiéndose identificado al presente cinco cuerpos a lo largo de 40 km que miden entre 1 y 20 km<sup>2</sup>). Las aplitas Cerro Baritina constituyen uno de los últimos representantes intrusivos de la región; son cuerpos subhorizontales de potencias importantes, entre 10 y 20 metros, y afloran en extensiones de hasta 10 km<sup>2</sup> a lo largo de 60 km en sentido meridiano.

La brecha Puesto de Los Caminos, objeto del presente trabajo, se encuentra emplazada en el límite noreste del cuerpo Cerro de los Burros, en contacto con granodioritas de la unidad GM y los monzogranitos miarolíticos de la unidad Puesto de Los Caminos (Figuras 1 y 2).



**Fig. 2:** Imagen tridimensional de los afloramientos geológicos de la figura 1, vistos en altura desde el Noroeste. La estructura Puesto de Los Caminos está resaltada en gris oscuro.

## Petrografía de las litologías brechadas

Los fragmentos de la brecha Puesto de Los Caminos están constituidos por pórfidos riolíticos, dacíticos, areniscas, granitos y metamorfitas. Los pórfidos presentan dos facies en el área de estudio; en el sector central y norte predominan los pórfidos riolíticos, de mayor granometría. Son rocas de tonos rojizos, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbol cálcico en texturas seriadas; son habituales los agregados de fenocristales integrando texturas glomeroporfíricas. El cuarzo se presenta en cristales subhedros a euhedros que muestran texturas de engolfamiento, bordes de reacción y extinción ondulosa; las plagioclasas generalmente se presentan en tablas cortas con maclas acuñadas y zonado oscilatorio, en distintos grados de reemplazo por fases argílicas, sericita y epidoto. La biotita, de tonos pardos, se encuentra en tablas cortas, parcialmente transformada en clorita y rutilo acicular. Por sectores se presentan agregados de cristales de anfíboles cálcicos de 2 a 10 mm (magnesiohornblenda, Base de datos Proyecto PICT N° 07-03581, 2001) parcialmente alterados a epidoto, clorita y hematita; tanto el anfíbol como la biotita incluyen circón, apatita y magnetita. La matriz está formada principalmente por cuarzo y en menor proporción por feldespatos y biotita. La granometría media es de 30-50 mm. En la parte sur predominan los pórfidos riolíticos-dacíticos de granometría más fina (tanto los fenocristales como la matriz), son de color gris oscuro, con características petrográficas similares a la facies dominante en el sector norte. Estos pórfidos riolíticos-dacíticos forman parte de la unidad DR de Lira *et al.* (1997 b) y pertenecen al cuerpo Cerro de los Burros, así designado por Lucero *et al.* (1995).

En cuanto a las areniscas, se reconocieron dos tipos formando fragmentos en la brecha, ambas con un alto grado de madurez textural y mineralógica; por un lado cuarzo-arenitas rojas silíceas, de estructura masiva y pobre estratificación, y por el otro areniscas rojas bien estratificadas, pobremente cementadas (porosas) y ricas en óxidos de hierro, las que presentan estructuras sedimentarias como estratificación paralela, entrecruzada y ondulitas. En el primer tipo, el cemento es silíceo de origen diagenético y fueron observadas evidencias de disolución por presión y recristalización, e indentaciones en granos de cuarzo, ambas evidencias de niveles profundos de diagénesis. En el segundo tipo se observan tres tipos de cemento: silíceo, rico en hematita y rico en carbonatos. En ambos tipos la fracción clástica está formada principalmente por cuarzo, escaso feldespato potásico y fragmentos líticos. Se postula una génesis de ciclo secundario para estas rocas basada en la ausencia de minerales estables (Lira *et al.*, 1997 b).

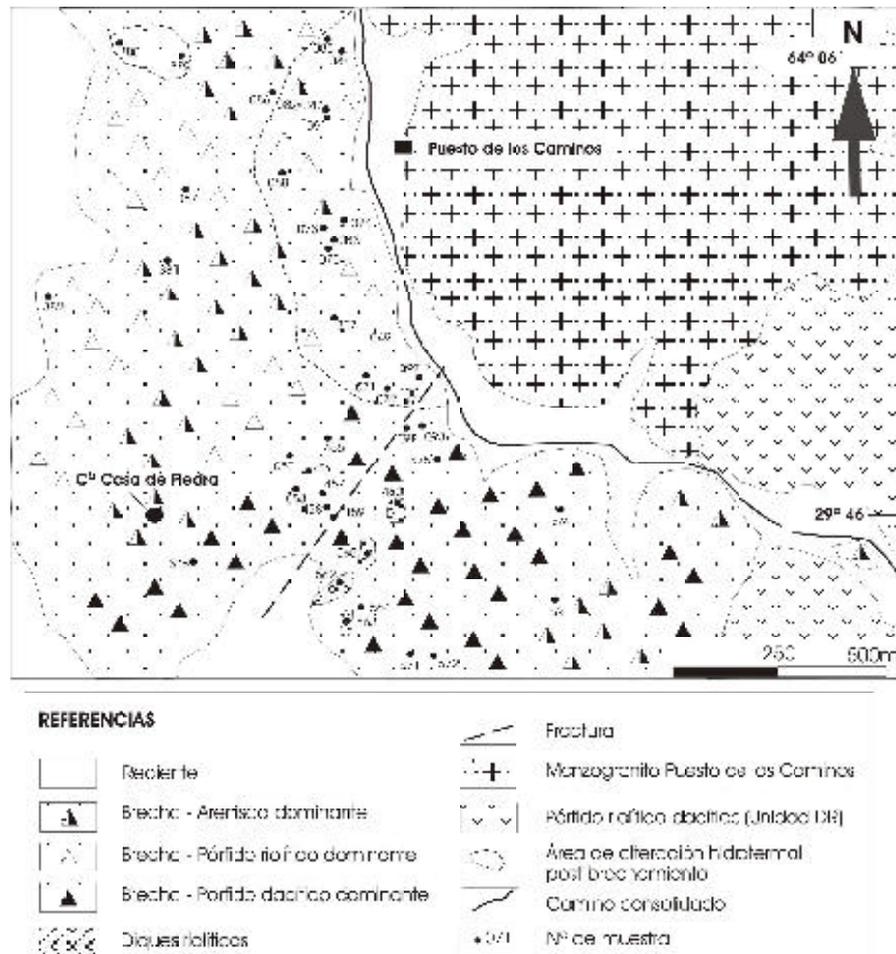
Los granitos se presentan en fragmentos de la brecha sólo en el área sur del cuerpo, y corresponden a monzogranitos miarolíticos evolucionados pertenecientes a la unidad Puesto de los Caminos (Lira *et al.*, 1997 b; Millone *et al.*, 2003 b), que aflora en el área en los cuerpos Puesto de los Caminos, al este, y Potrerillos, al sur (Figuras 1 y 2). Estas rocas tienen habituales coloraciones rojizas, grano medio a grueso, son equigranulares o inequigranulares, y son frecuentes portadoras de cavidades miarolíticas. Están constituidas por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, y como fases accesorias biotita (relictos alterados), magnetita (intensamente hematitizada), apatita, circón y, sólo en el cuerpo Puesto de Los Caminos, allanita. Los productos de alteración comunes son sericita, minerales de las arcillas, hematita, anatasa y clorita. Las texturas cataclásticas y la alteración postmagmática (greisenización, silicificación) son fenómenos comunes a todos los intrusivos de esta unidad.

Las metamorfitas son muy escasas y corresponden a filitas y metagrauvas grises oscuras de la Fm. La Lidia-Símbol Huasi (Lucero Michaut, 1979), similares a las aflorantes en el área de Rodeíto, ubicada inmediatamente al oeste (Figuras 1 y 2). Las filitas son rocas de marcada fisilidad formadas por una asociación principal de cuarzo - clorita - sericita, pertenecientes al grado bajo.

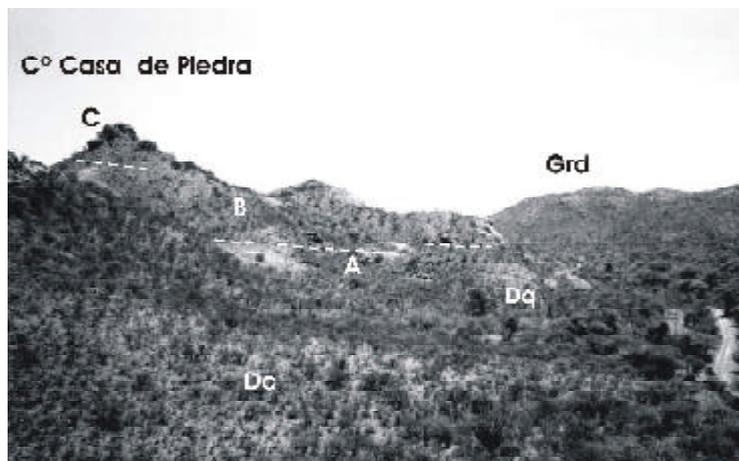
Con las filitas alternan metagrauvascas que se caracterizan por su estructura compacta, escasa fisilidad y fractura concoidea. Están constituidas por asociaciones dominantes de cuarzo-biotita-moscovita y cuarzo-biotita-epidoto.

### La estructura Puesto de los Caminos

En Puesto de los Caminos se destaca una estructura semicircular de ~2,4 km de largo (aproximadamente noroeste-sureste), por aproximadamente 0,7 km de ancho máximo, donde se emplaza la brecha, y una estructura concéntrica y exterior de ~9 km de largo que pasa por los contactos oriental y occidental del *roof pendant* de metamorfitas de Rodeito (Figuras 1 y 2). Los afloramientos de la brecha se disponen en un grupo de pequeños cerros con desniveles máximos entre el valle y las cumbres de 120 m. El sector mejor expuesto se encuentra al oeste del camino que une el paraje de Puesto de los Caminos con el de Agua del Río, en el cerro «Casa de Piedra» (Millone *et al.*, 1994; Figuras 3 y 4).



**Fig. 3.** Geología local de los principales afloramientos de la brecha Puesto de Los Caminos en su zona central. El camino corre por el valle a lo largo de la fractura semicircular más próxima al Valle del Río Las Leñas (ver Fig. 1).



**Fig. 4:** Vista desde el sur de los principales afloramientos de la brecha Puesto de Los Caminos en su sector central, limitados al este por el camino que conduce desde Agua del Río o Caspi Cuchuna hacia el norte (Rodeíto, etc.). Primer plano: pórfidos miloníticos; segundo plano: zonación vertical, A: nivel inferior de pórfidos craquelados, B: nivel medio de brecha heterolitológica caótica (Dq: dique riolítico), C: nivel superior, zona de colapso de megafragmentos de areniscas. GRD (al fondo): granodioritas regionales de la unidad GM.

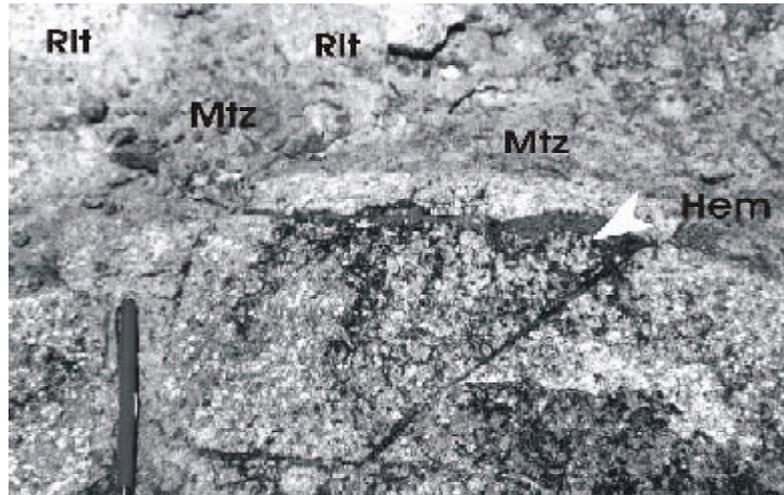
Se describen dos sectores representativos, el primero en la zona norte del sistema y el segundo en la zona sur.

Sector Norte: el perfil de observaciones (en dirección Este–Oeste), se inicia en el valle semicircular con afloramientos de pórfidos riolíticos fracturados en diseños irregulares, formando una brecha de tipo mosaico o «rompecabezas con bordes en serrucho» («jigsaw – puzzle», Fig. 5) que hacia arriba pasa de manera gradual a una brecha con fragmentos de pórfidos de muy variadas dimensiones (centímetros hasta metros) inmersos en una matriz de granometría arenosa y aún más fina, constituida por el mismo pórfido triturado y pulverizado, conformando una brecha tipo “harina de roca”. En los niveles inferiores la brecha es monolitológica, incorporando a medida que se asciende al nivel medio fragmentos de otras litologías que la convierten en una brecha heterolitológica, representados en orden decreciente de abundancia por pórfidos riolíticos-dacíticos del cuerpo Cerro de los Burros, areniscas rojas locales y metamorfitas similares a las de la vecina área de Rodeíto (Fig. 6).

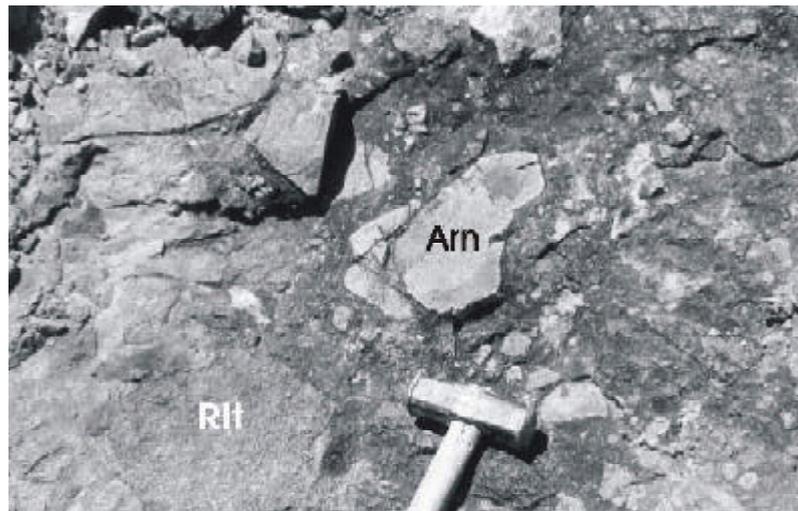
La presencia de fragmentos de areniscas rojas se hace más importante hacia el techo de la secuencia, llegando a conformar una brecha casi monolitológica en los niveles superiores. Esta arenisca aflora, en general, como fragmentos o megafragmentos de disposición caótica, como los ubicados en la zona cuspidal de la parte norte del cerro Casa de Piedra, que miden hasta 100 m<sup>3</sup>; se distribuyen en forma alternada a lo largo de todo el semicírculo de la estructura (Millone *et al.*, 1994; Fig. 4). Algunos centenares de metros alejados de la estructura (por ejemplo, hacia el suroeste del cerro Casa de Piedra), los afloramientos de arenisca recobran su posición originaria subhorizontal.

Sector Sur: perfil realizado en la parte sur del cerro Casa de Piedra y orientado noreste – suroeste. Se inicia al noreste, en el valle, el cual está cubierto por sedimentos recientes; a medida que se asciende topográficamente se pasa de una brecha de pórfido a una brecha de fragmentos angulosos de arenisca rojiza con ondulitas y matriz de fragmentos de esta misma arenisca; continúan hacia el oeste afloramientos de dacitas oscuras milonitizadas, con fracturas anastomosadas y señales de cizalla; hacia la parte más alta de este perfil se encuentra una brecha con grandes fragmentos

de granito (plutón Potrerillos), dacitas grises oscuras (en fragmentos de hasta 5 m<sup>3</sup>) y fragmentos de areniscas de menor tamaño. Hacia el oeste y ya descendiendo por la ladera occidental del cerro Casa de Piedra, aflora dacita gris oscura *in situ* tectonizada, que no forma parte de la brecha, sobre la cual se destacan restos de areniscas; se pasa nuevamente a areniscas, brecha de areniscas y finalmente brecha de dacitas (fragmentos de hasta 1 m de diámetro) con escasa participación de fragmentos de areniscas.



**Fig. 5:** Brecha monolítica de pórfido riolítico (Rlt), nivel inferior, textura en rompecabezas; la matriz (Mtz) es heterométrica compuesta por el mismo pórfido triturado-pulverizado. El fragmento en primer plano se halla cortado en sentido diagonal por una fractura que ha desplazado una mitad con respecto a la otra y se halla parcialmente cementada por hematita (Hem). Los fragmentos de pórfido han sufrido alteración pervasiva por caolinita-illita (puntos claros) y hematita (Hem, oscuro).



**Fig. 6:** Brecha heterolítica caótica compuesta de fragmentos angulares a subredondeados de pórfido riolítico (Rlt) y areniscas (Arn). Nivel medio, zona de harina de roca.

## Procesos de alteración y mineralización

Las evidencias de actividad fluida identificadas en el cuerpo de la brecha pueden dividirse en aquellas originadas en etapas previas al brechamiento, limitadas a la fracción clástica (fragmentos y matriz) y aquellas de origen post-brechamiento, que afectan a todo el conjunto (fragmentos y matriz) de manera pervasiva como cemento en parches y en venillas.

Los procesos de alteración-mineralización pre-brechamiento más importantes son los registrados en el sector central (muestras 458 y 459) y centro-oriental (muestras 092 y 093; Fig. 3). La roca afectada es una dacita gris presente en el lugar en forma de fragmentos métricos. En esta roca se presentan piritita disseminada y venillas de cuarzo con calcosina y fases secundarias de oxidación (covellina y malaquita). Aproximadamente 2,5 km al sureste, en el paraje Puesto El Salto, alineadas en sentido meridiano con la misma faja milonítica que bordea por el oeste al Valle del Río Las Lejías (Fig. 1), aparecen asociaciones de sulfuros (calcopirita, bornita y compuestos oxidados de Cu) en riolitas miloníticas vinculadas a paragénesis de alteración potásica (biotita secundaria + magnetita; Lira *et al.*, 1997 a; Millone, 2004).

Los estudios de sulfuros relictos interpretados sobre 16 muestras seleccionadas de los tres niveles identificados (nivel inferior de riolitas brechadas, nivel medio de brecha heterolitológica caótica y nivel superior de brecha de areniscas) permitieron discriminar que el 56% de las muestras poseían piritita y reducidas cantidades de calcopirita; el 45% de esos granos se encontraba en la matriz o incluidos en el cemento y el resto dentro de fragmentos de cuarzo o riolitas (Lira *et al.*, 1997 a). El porcentaje de granos presentes en la matriz o cemento (45 %) son granos individuales y aislados y su hábito “no cementante o aglomerante” sugiere su naturaleza pre-brechamiento. Estos sulfuros en general se encuentran parcialmente oxidados a óxidos-hidróxidos de hierro. Las granulometrías varían de < 5 mm hasta 75 mm en la piritita y de < 5 hasta 40 mm en la calcopirita.

En cuanto a las alteraciones post-brechamiento, los fragmentos de riolita ubicados en el sector centro-oriental muestran a los fenocristales de plagioclasa y a los feldespatos de la pasta o matriz del pórfido, reemplazados parcial o totalmente por asociaciones de caolinita-illita (DRX-MEB en 2 muestras: 1- Caolinita casi pura y 2- caolinita:illita ~85:15), goethita-hematita, y carbonatos en parches (Fig. 5).

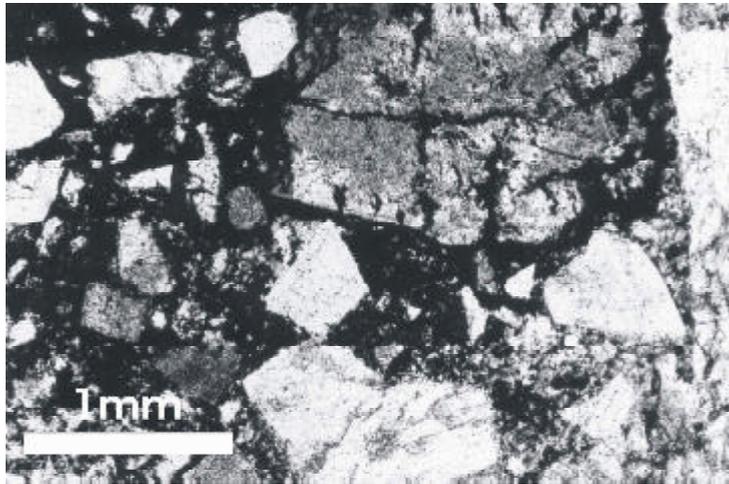
Los productos de alteración pervasiva que afectan tanto a los fragmentos mayores como a la matriz son caolinita, illita, sericita, calcita, hematita y goethita. Cuarzo (calcedonia), baritina, óxidos de Mn-Ba y fluorita constituyen fases de relleno de distribución localizada. La hematita y la goethita dominan la coloración y se identifican como impregnaciones de fragmentos, como cemento en la matriz o reemplazando a mafitos primarios como magnetita, biotita y anfíbol de los pórfidos dacíticos y riolíticos. Rellenos de fisuras por venillas de hematita se reconocieron a nivel mesoscópico y microscópico atravesando diferentes tipos de fragmentos y también en la matriz. Los cementos post-brechamiento de algunos sectores de la brecha son hematita (abundante) y carbonatos; los fragmentos pueden ser rocas como las descritas (líticos) o sólo granos minerales como cuarzo y feldespatos (Figuras 7, 8 y 9).

La baritina se presenta en cavidades drúsicas que tienen hasta 20 cm de diámetro desarrollando texturas costriformes y asociadas a calcita con hábito “diente de perro”. También se han observado baritina y calcita como relleno de diaclasas que atraviesan fragmentos y matriz. Se midieron inclusiones fluidas en trozos de exfoliación de baritina que arrojaron temperaturas de homogeneización entre 180° y 220° C (Lira *et al.*, 1997 a).

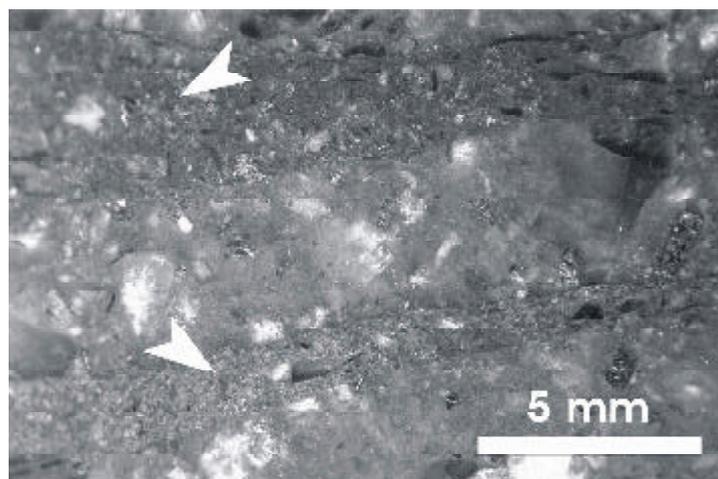
La sílice se presenta como cuarzo en venillas asociado a la sericita (muestras 058 y 380), como cristales en drusas de ~10 cm (muestra 379), o en agregados de calcedonia relleno de cavidades

(muestras 075 y 379). En una única muestra se identificó fluorita asociada a sericita en cavidades (muestra 455). Baritina, óxidos de Mn-Ba, calcita (en cristales) y fluorita constituyen asociaciones comunes en los vecinos grupos mineros manganesíferos de Los Hoyos-Chuña Huasi y Pozo Nuevo (Ramé *et al.*, 1999), mineralización que fue datada en  $134 \pm 3$  Ma (K/Ar en criptomelano; Brodtkorb y Etcheverry, 2000)

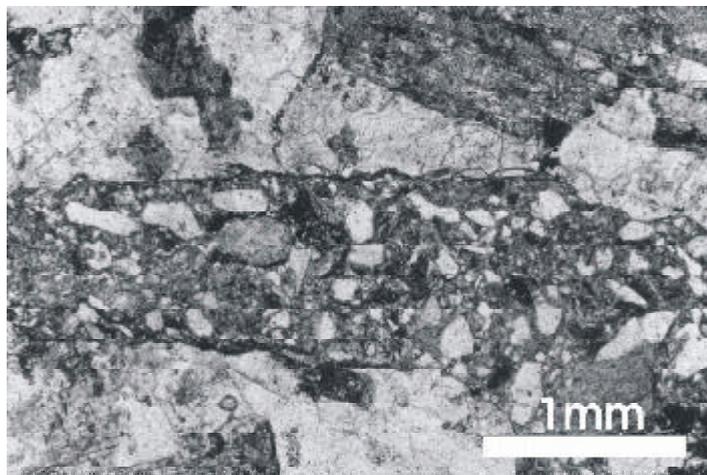
Considerando los procesos de alteración identificados, éstos indican la existencia de un evento de alteración de mayor temperatura, atestiguado por la presencia de magnetita y biotita secundaria; estos minerales, acompañados por pirita y calcopirita son indicadores de procesos de alteración potásica similares a los que aparecen en pórfidos de cobre, como el caso de Puesto El Salto (Figuras 1 y 2). También se hallan presentes fases de alteración de naturaleza argílica/fílica (caolinita, illita, sericita) y calcita, que se consideran procesos de alteración post-brechamiento.



**Fig. 7:** Sección delgada de brecha con fragmentos angulares de feldspatos, cuarzo y líticos, cementados por hematita (oscuro) y carbonatos (sector gris, ángulo inferior derecho). Nivel intermedio, muestra 090.



**Fig. 8:** Cementación hematítica en lineamientos microbrechados de pórfido riolítico. Nivel inferior, muestra 091.



**Fig. 9:** Sección delgada de brecha en zona de pórfido riolítico craquelado, atravesada por microbrecha con fragmentos de la misma roca cementados por hematita y carbonatos. Nivel inferior, muestra 084.

### Geoquímica de rocas alteradas y mineralizadas

En el cuerpo de brecha de Puesto de los Caminos se realizó un muestreo asistemático sobre aquellas áreas con mayores evidencias de alteración o mineralización de sulfuros. Se lograron diferenciar, desde el punto de vista geoquímico, tres grupos con características propias: a) el grupo de muestras de brecha con fragmentos de diferente naturaleza pero que tiene en común poseer matriz formada por material triturado y pulverizado de los fragmentos mayores y variable proporción de cemento, siendo éste principalmente hematítico y carbonático ( $n=30$ ); b) muestras de fragmentos de pórfidos riolítico-dacíticos grises oscuros con mineralización cuprífera ( $n=4$ ); c) muestras de diques riolíticos de disposición aproximadamente radial a la principal estructura semicircular ( $n=3$ ). La ubicación de las muestras se encuentra en la figura 3 y los resultados analíticos se presentan en la tabla 1.

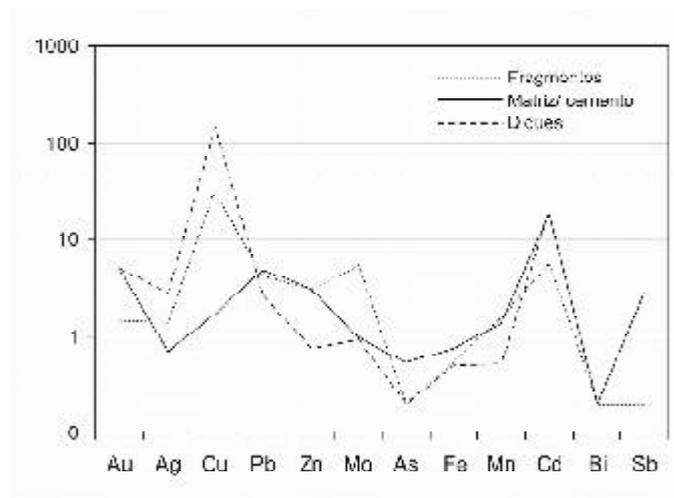
Para el tratamiento de la información geoquímica se evaluaron los resultados analíticos tabulados y por otro lado se calcularon los “factores de enriquecimiento” (FDE; i.e., Yang *et al.*, 1999), considerando la media de cada elemento en el área en cuestión sobre el valor medio de la corteza superior (Taylor y McLennan, 1985). Al analizar el comportamiento de los elementos en el primer grupo (grupo a,  $n=30$ ; Fig. 10), se identifica la asociación geoquímica Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Cd y se observa un FDE  $> 10$  en el cadmio (Cd), con enriquecimientos leves (FDE  $< 10$ ) en el Au, Pb, Zn y Sb. La presencia de Cd está vinculada a la anomalía de Zn (habitualmente en la esfalerita), aunque también podría estar ligada a la existencia de calcopirita o a la formación de otros óxidos o carbonatos de cadmio (Vlasov, 1966); la relación Zn-Cd es evidente en los resultados de la tabla 1. Las anomalías de Au tienen control estructural y se ubican en la fractura NE-SO ubicada al este del cerro Casa de Piedra (Fig. 3).

En el caso de las asociaciones pre-brechamiento, como es el caso del grupo b ( $n=4$ ), se identificó la misma anomalía geoquímica (Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Cd). Si bien el número de muestras es escaso para realizar estadística, se calcularon los FDE para realizar observaciones orientativas. Los enriquecimientos marcados en este caso se dan sólo en el Cu, con FDE leves en el caso de los elementos Pb, Zn, Mo y Cd (Fig. 10). Las anomalías de Cu tienen correlación con mineralizaciones de calcopirita y calcosina pero no se han encontrado respuestas mineralógicas para los otros elementos anómalos.

En el caso del grupo c, con la misma limitación en cuanto al número de muestras (n= 3), se observa que el elemento que presenta un enriquecimiento importante es el Cu; también muestra ese comportamiento el Sb, sin haberse detectado ninguna fase discreta con la cual relacionarlo. Con FDE leves se observa al Au, Ag y Pb (Fig. 10). En este caso, los valores de Cu son el resultado de la presencia de calcopirita en las venas de cuarzo que cortan al dique, sin haberse detectado otras fases que representen a las anomalías de Au, Ag y Pb. Si se comparan los FDE de cada uno de los grupos a través de gráficos de líneas, se verifican las diferencias planteadas (Fig. 10).

150,0	213,0	27,0	0,1	1,97	477,0	1,0	0,1	0,1
93,0	39,0	2,0	0,1	1,53	231,0	0,1	0,1	0,1
4,0	17,0	2,0	0,1	0,83	89,0	0,1	0,1	0,1
14,0	33,0	0,1	0,1	1,99	358,0	0,1	0,1	7,0
15,0	70,0	0,1	0,1	3,02	600,0	0,1	0,1	0,1
49,0	91,0	2,0	0,1	1,67	375,0	0,1	0,1	0,1
8,0	59,0	1,0	0,1	3,15	550,0	0,1	0,1	0,1
8,0	76,0	1,0	0,1	3,41	733,0	0,1	0,1	0,1
7,0	82,0	0,1	0,1	3,15	457,0	0,1	0,1	0,1
14,0	77,0	0,1	0,1	2,93	380,0	0,1	0,1	0,1
14,0	32,0	1,0	0,1	3,27	603,0	0,1	0,1	0,1

**Tabla 1** Análisis geoquímicos de muestras de la brecha PDLC. a: brecha heterolítica con cementación hematítica y carbonática, b: brecha craquelada de pórfidos miloníticos con mineralización cuprífera, c: diques riolíticos mineralizados. Fe: hierro total en %; Au en ppb y el resto de los elementos en ppm. Las muestras de esquirla de roca (~2 kg) fueron analizadas en los laboratorios de ITS – Bondar Clegg. Los límites de detección y metodología de digestión y análisis para cada elemento fueron: Au (5 ppb) ensayo a fuego, absorción atómica; Ag (0,1 ppm), Cu (1 ppm), Pb (2 ppm) y Zn (1 ppm), multiácida, absorción atómica; Mo (2 ppm) y As (20 ppm), agua regia, absorción atómica; Fe (0,01%), Mn (5 ppm), Sb (5 ppm), Bi (5 ppm) y Cd (1 ppm), multiácida, plasma de inducción.



**Fig. 10:** Factores de enriquecimiento (FDE) en muestras de brecha en las cuales predominan fragmentos de pórfidos riolítico-dácíticos milonitizados pre-brechamiento y matriz con cemento hematítico-carbonático post-brechamiento, y muestras de diques riolíticos. Se destaca una similitud entre las respuestas geoquímicas de los fragmentos de pórfidos craquelados y los diques riolíticos, como evidencia de la mineralización hidrotermal de sulfuros pre-brechamiento.

## Clasificación de la brecha. Análisis comparativo

Teniendo en cuenta clasificaciones basadas en criterios descriptivos – genéticos (Corbett y Leach, 1995; Fridrich *et al.*, 1991; Hedenquist y Henley, 1985; McCallum, 1985; Nelson y Giles, 1985; Sillitoe, 1985; Taylor y Pollard, 1993), se puede definir a la brecha Puesto de Los Caminos en el nivel inferior como una brecha “en mosaico” (fragmentos angulares “autóctonos”) en transición hacia una brecha de “harina de roca” con importante participación de la roca de caja en la matriz. En el nivel superior la brecha pasa transicionalmente a una brecha “de colapso”.

Brechas “en mosaico” o “en rompecabezas con bordes en serrucho” (también llamadas por algunos autores “craqueladas”), son aquellas en las que los fragmentos, en general angulares, se encuentran parcialmente en contacto y no se observa material exótico. En este tipo de brecha el material de roca de caja triturado no es un componente importante y la participación de componentes hidrotermales aportados es minoritaria (Corbett y Leach, 1995). Se forman cuando la presión de gases supera la presión litostática y se produce fracturamiento hidráulico (Hedenquist y Henley, 1985). En el cuerpo en estudio existen buenos ejemplos en el sector norte (Fig. 5).

Las brechas de “harina de roca” incluyen una variedad de brechas cuya matriz está compuesta por fragmentos triturados y redondeados. En general la estructura es de fragmentos en una matriz heterométrica abundante soldada, por lo que los casos de espacios vacíos son escasos, como ocurre en el nivel topográfico intermedio de la zona norte (Fig. 6).

Brechas de “colapso” o de “colapso – explosión” son un grupo de brechas de espacios abiertos que se producen en general en la parte externa y superior del complejo; están formadas generalmente por roca encajonante. La génesis del colapso corresponde a la fase de relajación que sigue a un evento explosivo, el cual generalmente se asocia al derrumbe sobre la cámara magmática parcialmente vaciada (Rytuba, 1991); ejemplos de este tipo de brecha se pueden observar en los sectores cuspidales de la estructura (i.e., Cerro Casa de Piedra).

Sillitoe (1985) divide las brechas en magmáticas – hidrotermales, brechas hidromagmáticas (freáticas y freatomagmáticas), magmáticas, intrusivas y tectónicas. Analizando el caso de Puesto de los Caminos en el marco de esta clasificación, su íntima relación con cuerpos subvolcánicos e intrusivos someros permite encuadrarla como una brecha magmática. Este tipo de brechas pertenece a sistemas asociados a intrusivos, donde las rocas son fragmentadas en un ambiente subvolcánico a volcánico de emplazamiento subaéreo. Estas brechas se forman en conductos o tubos (“*pipes*”) a profundidades de más de 1 km, al nivel de intrusiones porfíricas, y en general no ventean a superficie. Este tipo de emplazamiento no genera emisión de piroclastitas.

Los conductos de brecha (“*pipes*”) suelen sobreyacer a apófisis de cuerpos ígneos mayores, que son los que aportan los metales de una eventual mineralización. Buenos ejemplos mundiales de este tipo de brechas son Kidston (Wilson *et al.*, 1986; Baker y Tullemans, 1990) y Mt Leyshon (Orr, 1995). Si se consideran los eventos hidrotermales presentes en Puesto de los Caminos, las manifestaciones de mineralización son, al menos en superficie, escasas y de poca magnitud.

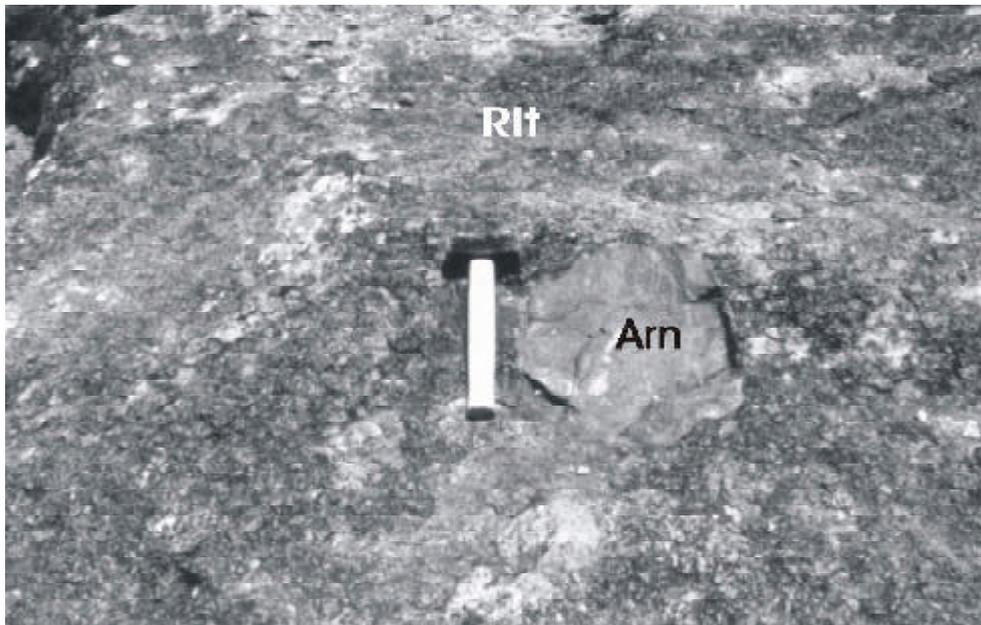
Con relación a la clasificación propuesta por Miró y Saap (2005) como brecha de talud para la estructura de Puesto de los Caminos, caben las siguientes observaciones: el cuerpo de brecha, zonado según niveles, incluye fragmentos de variadas litologías, entre ellas areniscas, pórfidos riolíticos, dacíticos, granitos y metamorfitas. De ellas, las areniscas mencionadas por Miró y Saap (2005) como aflorantes en la parte superior del sistema, según nuestra opinión corresponden a cuerpos de brecha de tendencia monolitológica, con fragmentos heterométricos (desde centímetros hasta varios metros cúbicos). Los fragmentos mayores se encuentran en la parte cuspidal, y consisten en cuerpos de arenisca desmembrados y basculados, inmersos en una matriz de grano fino formada por la misma roca (Millone *et al.*, 1994). La presencia de estos megafragmentos en las partes

cuspidales constituye una disposición habitual en los sistemas donde se ha verificado el colapso de al menos parte del edificio volcánico (Rytuba, 1991). Todas estas características son coincidentes con brechas de colapso – explosión, inconsistentes con elementos de una brecha de talud.

Por otra parte, en el nivel inferior se han verificado fragmentos xenolíticos de areniscas inmersos dentro de pórfido riolítico (Fig. 11), algunos con bordes que evidencian recristalización por efectos térmicos, lo cual es inequívoca evidencia que el evento magmático postdata a la depositación de las areniscas. Considerando que las dataciones de estos pórfidos riolíticos oscilan entre edades proterozoicas tardías a cámbricas (Castellote, 1985; González *et al.*, 1985; Massabie *et al.*, 2002; Millone *et al.*, 2003 b; Söllner *et al.*, 2000; Leal *et al.*, 2003; Miró *et al.*, 2004), no es posible que las mismas incluyan xenolitos de sedimentitas neopaleozoicas de la formación La Puerta, como proponen Miró y Saap (2005).

Es de destacar, asimismo, la notable disposición secuencial desde los niveles inferiores a los superiores de brecha en rompecabezas, brecha de harina de roca y brecha de colapso, disposición característica de un evento de brechamiento relacionado a un fenómeno magmático. Se suman a estas evidencias el diseño de fracturas semicirculares controlando el emplazamiento del sistema y la intrusión de cuerpos graníticos evolucionados en la parte central de la estructura (plutón Puesto de Los Caminos).

Procesos de generación secundaria posteriores al colapso, como son los canales de flujo denso, se han observado en la brecha Puesto de Los Caminos, localizados en la ladera oriental del cerro Casa de Piedra; en éste se observa, mirando desde el norte, dirección hacia la que habría avanzado el flujo, un canal de ~ 6 m de ancho y 1,5 m de profundidad máxima actual. Este canal está labrado en la misma brecha y muestra en su base una brecha de pórfido riolítico con diámetros de fragmentos de hasta 1 m; el relleno superior es una brecha de arenisca con fragmentos desde milímetros hasta 4 m de diámetro. Hacia el centro del canal aparecen fragmentos de filitas y pórfidos subredondeados.



**Fig. 11:** Fragmento xenolítico de arenisca (Arn) inmerso en pórfido riolítico (Rlt). Algunos de estos xenolitos muestran rebordes de recristalización térmica. Nivel inferior, zona de craquelado.

## Características estructurales. Posibles mecanismos de formación

Los afloramientos de la brecha Puesto de los Caminos se disponen según un diseño semicircular; las fracturas semicirculares de menor radio que controlan el emplazamiento de la brecha son concéntricas con fracturas de mayor radio como las que controlan la disposición del *roof pendant* metamórfico de Rodeíto. Estas estructuras se encuentran abiertas hacia el Valle del Río Las Lejías (Figuras 1 y 2). Este valle se emplaza en una importante falla regional de orientación meridiana, que intersecta una estructura mayor de orientación ONO - ESE. Estos dos sistemas forman parte de los principales sistemas de fracturas en Sierra Norte (Moreno *et al.*, 1988; Lira *et al.*, 1997 b; Millone, 2004). En la intersección de los elementos estructurales señalados se ha emplazado el plutón monzogranítico Puesto de Los Caminos, más precisamente en el límite noreste del cuerpo subvolcánico Cerro de los Burros, en el contacto entre este pórfido y las granodioritas-monzogranitos regionales.

En un sistema de colapso los fragmentos de las brechas provienen de las rocas regionales que componen las paredes de la estructura, mostrando variaciones desde los bordes hacia adentro; habitualmente la morfología de los cuerpos cambia de bancos en los bordes, a lenguas y cantos diseminados hacia el centro, aumentando la proporción de matriz y disminuyendo el tamaño de los fragmentos de la brecha (Fridrich *et al.*, 1991; Furnell *et al.*, 1995; Orr, 1995; Rytuba, 1992; Scandone, 1990; Lipman, 1984). En Puesto de Los Caminos, la fracción más gruesa de la brecha, con grandes bloques de hasta 100 m<sup>3</sup>, principalmente de arenisca, se observa en las áreas marginales, que se ubicarían en la parte alta de los cerros hacia el oeste, hacia el norte y hacia el sur. La arenisca habría sido la roca local suprayacente, colapsada dentro de la estructura. También se verifican variaciones hacia el centro, que en este caso coinciden con niveles topográficos inferiores, pasando a una brecha heterolitológica con menor tamaño de fragmentos y evidencias de flujo.

En el caso de las areniscas, los escasos afloramientos en la región podrían reflejar el profundo nivel erosivo; las metamorfitas, representantes de la Fm. La Lidia-Símbol Huasi se encuentran aflorando ~1 km al oeste, en el *roof pendant* de Rodeíto. Se interpreta que los afloramientos de esta roca llegaban hasta el borde de la actual estructura de colapso, o bien constituían xenolitos o colgajos aislados, por lo cual sólo participan en forma minoritaria como fragmentos de la brecha. Más de un evento de colapso ha sido postulado para Puesto de Los Caminos (Millone, 2004) sobre la base de la presencia de fragmentos de granito del plutón Potrerillos (unidad PDL), que constituirían domos resurgentes emplazados con posterioridad al primer evento de colapso.

Analizando la evolución del sistema, éste estaría relacionado al emplazamiento de un cuerpo de magma ácido a intermedio en niveles corticales someros, que habría generado una "tumescencia" o arqueamiento de los estratos suprayacentes. En sistemas de esta naturaleza, la magnitud de la tumescencia depende del tamaño de la cámara magmática en profundidad; *a posteriori* se suceden erupciones (superficiales o subsuperficiales) violentas que producen el colapso de las rocas encajonantes en la cámara magmática (Rytuba, 1991 y 1992).

En Puesto de Los Caminos se puede destacar una estructura semicircular de ~2,4 km de largo donde se emplaza la brecha, y una estructura concéntrica y exterior (~9 km de largo) que pasa por los contactos este y oeste de los afloramientos de metamorfitas del cuerpo Rodeíto. Las estructuras semicirculares presentes en Puesto de Los Caminos podrían representar un sistema de fracturación anular resultado del arqueamiento cóncavo o tumescencia (Rytuba, 1992). La actual estructura de colapso se ubica en la zona central del sistema y podría corresponder a la parte apical del sistema. La disposición de los afloramientos de las metamorfitas de Rodeíto, cuya morfología de medialuna, cóncava hacia el valle del Río Las Lejías (6 km NS x 1 km EO), se adapta llamativamente al diseño de la fractura circular externa, podría deberse a que parte de los afloramientos fueron preservados

de la erosión al quedar en la parte deprimida de la estructura.

En Puesto de Los Caminos se consideran como parte de estructuras resurgentes a los domos de monzogranitos miarolíticos de la unidad Puesto de los Caminos; el denominado plutón Puesto de los Caminos mide ~1 km<sup>2</sup>, tiene diseño circular y se ubica en el centro de la estructura; el más austral, denominado plutón Potrerillos mide 2,5 km<sup>2</sup>, tiene forma alargada en sentido meridiano y limita por el sur a los actuales afloramientos de la brecha de colapso.

En Puesto de los Caminos no hay registro de depósitos piroclásticos, lo cual permitiría interpretar que el sistema se generó en niveles subsuperficiales. Los elementos existentes permiten postular la hipótesis que Puesto de Los Caminos constituya un sistema de conducto o "pipe" emplazado en niveles subsuperficiales, más que un sistema caldérico *sensu stricto*.

### Consideraciones geotectónicas y metalogénicas

El primer trabajo de índole geotectónica que involucra a la Sierra Norte – Ambargasta corresponde a Ramos (1988). En él se propone la existencia en tiempos neoproterozoicos a eopaleozoicos de un arco magmático de orientación submeridiana de más de 1.200 km de extensión, ubicado al este del actual emplazamiento de la Sierra Norte y generado por la subducción hacia el oeste del cratón Río de la Plata por debajo del *terrane* Pampia. Posteriormente Kraemer *et al.* (1995) postulan la subducción hacia el este de Pampia por debajo del cratón Río de la Plata, ubicando el arco magmático hacia los 900 Ma. Lira *et al.* (1997 b), sobre la base de estudios geológicos y geoquímicos plantean la existencia de un arco magmático precolisional de naturaleza calcoalcalina tipo I y Rapela *et al.* (1998) proponen que dicho arco se verifica por la subducción hacia el este del *terrane* Pampia por debajo del cratón Río de la Plata, en tiempos cámbricos. Martino *et al.* (1999), al estudiar la faja de cizalla Sauce Punco, en la parte sur de la Sierra Norte, postulan la inconsistencia de la orientación de la subducción hacia el este basados en la disposición general de la foliación en los granitoides ubicados al este de la faja de cizalla.

Elortegui Palacios (2002) aporta información sobre granitos cuya signatura geoquímica los ubica en la etapa tardío-colisional, ubicados en el sector oriental de la Sierra Norte (granito "Puesto de Rojas"), planteando que la presencia de granitoides representantes de este ambiente hacia el este del sistema, indicaría la progresión de la subducción en esa dirección.

La información obtenida en los trabajos de Millone *et al.* (2003 a y b) y Millone (2004), reafirman la existencia de un arco magmático originariamente ubicado al oeste del actual emplazamiento de la sierra. Las edades Rb/Sr y K/Ar en roca total o biotita (i.e., Gonzalez *et al.*, 1985; Castellote, 1985; Millone *et al.*, 2003 a y b) y U/Pb en circón (Söllner *et al.*, 2000) indicarían que este arco desarrolló su etapa precolisional durante el Neoproterozoico, estando representada esta etapa orogénica por los monzogranitos y granodioritas hornblendo-biotíticos de la unidad GM y los pórfidos dacítico-riolíticos de la unidad DR. No obstante, Miró *et al.* (2004) obtienen edades U/Pb (en circón), de 540 Ma para la granodiorita regional (muestra de granodiorita deformada) y de 535 ± 8 Ma para una dacita porfírica del cuerpo subvolcánico Cerro de los Burros (unidad DR).

Las aplitas Cerro Baritina (Millone, 2004) así como los diques porfíricos de Estancia La Lidia (Massabie *et al.*, 2002), Oncán (Rapela *et al.*, 1991) y los numerosos cuerpos hipabisales intruidos en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta estudiados por O'Leary (2004) y O'Leary *et al.* (2006) se habrían producido entre el Cámbrico tardío y el Ordovícico temprano. Este magmatismo félsico de carácter postcolisional habría ocurrido en una etapa extensional desarrollada durante la exhumación del orógeno y representa el cierre del magmatismo de la orogenia Pampeana (Rapela *et al.*, 1991; Millone, 2004; O'Leary *et al.*, 2006).

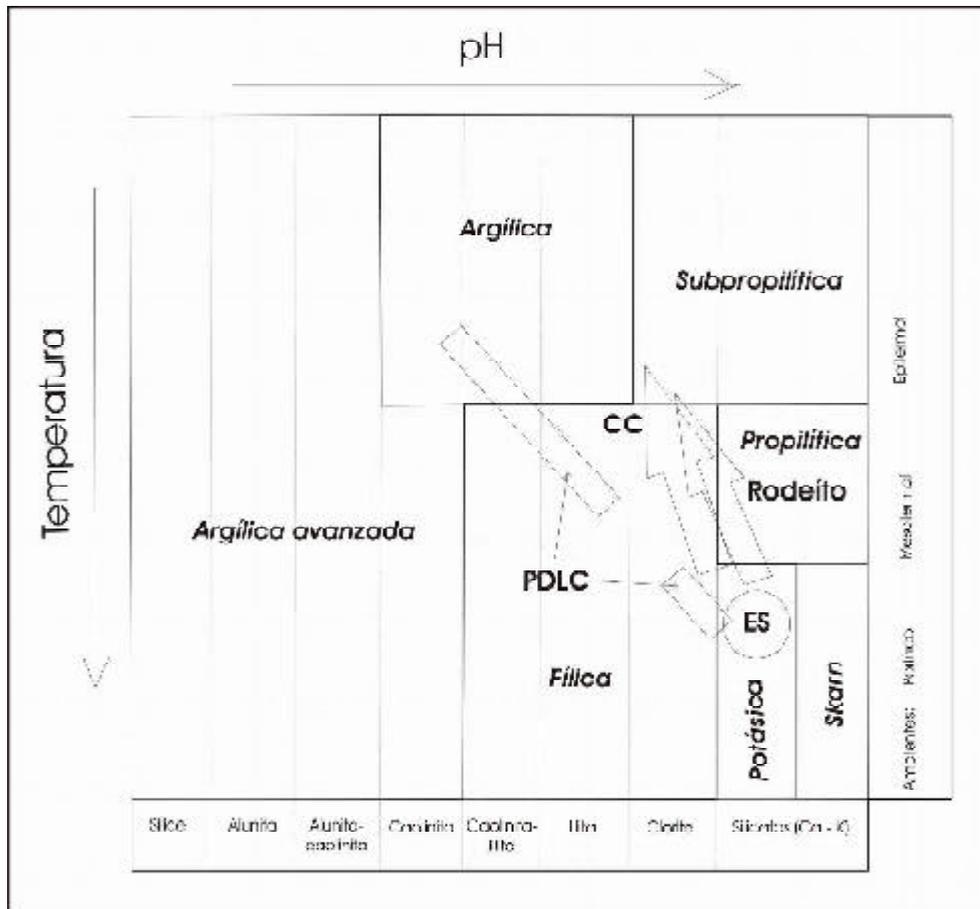
En cuanto a las fajas de deformación, éstas han sido estudiadas en la Sierra Norte de Córdoba

por Martino *et al.* (1999) y Miró *et al.* (1999). Martino *et al.* (1999) describieron la faja de deformación Sauce Punco, una de las más grandes de las Sierras de Córdoba (50 km de largo, 2 a 7 km de ancho, rumbo dominante N 30°). Esta faja afecta a granitoides del SNAB y se extiende desde las proximidades de Deán Funes hasta Punta del Monte, unos 15 km al SSO de San Pedro Norte (Fig. 1). A partir de este último paraje hacia el norte Martino *et al.* (1999) postulan la probable ramificación en forma de “Y” griega, con una rama oeste cuya prolongación se ubicaría a lo largo del Valle del Río Las Lejías. La faja de deformación descrita por Lira *et al.* (1997 a) y Millone (2004) en Puesto El Salto se ubica en dicha ramificación oeste y coincide a su vez con el mencionado lineamiento norte-sur donde se ubica el sistema de brecha Puesto de los Caminos. Las características de esta faja son su naturaleza transcurrente dextral, interpretándose como relacionada a un margen activo dentro de un arco magmático (Martino *et al.*, 1999) lo cual es coherente con el ambiente geotectónico propuesto.

Los procesos involucrados en el origen de la brecha Puesto de los Caminos han sido relacionados por Lira *et al.* (1997 a) y Millone (2004) a un sistema más amplio que incluye los casos de Rodeito (al oeste), El Salto (al sur) y Caspi Cuchuna (al este). El modelo metalogénico propuesto para este conjunto es el de un sistema de alteración-mineralización (Fig. 12) asociado a un cuerpo ígneo hipotético emplazado en niveles intermedios, subyacente en la zona del Valle del Río Las Lejías y áreas circundantes. Este cuerpo, denominado “Intrusivo del Valle Las Lejías” (Millone, 2004), habría actuado como el «motor de calentamiento» y aportado fluidos y metales para la formación de los sistemas hidrotermales mencionados y, en su proceso de emplazamiento y cristalización, habría generado el sistema tipo “*pipe*” de Puesto de los Caminos.

La interrelación entre dichas asociaciones de alteración indica una evolución desde asociaciones de mayor temperatura y profundidad (3 a 4,5 km) hasta asociaciones de niveles someros (Fig. 12). Las primeras están representadas por la alteración potásica de El Salto (biotita-magnetita-pirita-calcopirita) y la alteración potásica de Puesto de los Caminos; las venas y venillas del vecino paraje de Caspi Cuchuna representan sistemas más próximos al hipotético intrusivo. Continúan asociaciones de niveles medios que constituirían alteraciones de tipo propilítica - subpropilítica a filicas, para llegar en niveles más someros a asociaciones de tipo filica - argílica, como las superpuestas a los sistemas previos en Caspi Cuchuna, El Salto y Puesto de los Caminos. Los fluidos que migraron desde su fuente a través de las rocas regionales y se emplazaron a niveles profundos próximos al cuerpo intrusivo, habrían generado hacia el este, en Caspi Cuchuna, sistemas de baja sulfuración de tipo “oro y cobre con cuarzo y sulfuros” (“mesotermiales” o “de venas cordilleranas” (Hedenquist, 1987; Lindgren, 1922 y 1933, en Guilbert y Park, 1986; Corbett y Leach, 1995). Los sistemas emplazados a niveles más someros (< 1 km de profundidad) están representados por las venillas epitermales tipo adularia - sericita, superpuestas a los sistemas más profundos en las venas de Caspi Cuchuna. En el caso de Puesto de los Caminos se destaca la superposición de asociaciones de niveles más profundos y mayor temperatura (alteración potásica) con alteraciones filica y argílica de niveles más someros (Fig. 12).

La geoquímica de elementos metalíferos y trazas de exploración realizada en las cuatro áreas mencionadas (Lira *et al.*, 1997 a; Millone, 2004) muestra la coexistencia de elementos típicos de sistemas porfíricos (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Cd, In) y de otros que estarían más relacionados a sistemas granófilos (Sn, Bi, Te, Se, Mo, Re). Sucesivas generaciones de pulsos hidrotermales emplazados a diferentes niveles, y a menudo superpuestos entre sí, habrían producido las asociaciones geoquímicas señaladas.



**Fig. 12:** Asociaciones minerales de alteración hidrotermal clasificados en función de la temperatura y el pH; los minerales que encabezan las columnas indican grupos (modificado de Corbett y Leach, 1985). Se han agregado las áreas de alteración-mineralización identificadas en la Sierra Norte central (Lira *et al.*, 1995; Lira *et al.*, 1997 a; Millone, 2004). PDLC: brecha Puesto de Los Caminos; CC: Caspi Cuchuna; ES: Puesto El Salto.

## Consideraciones finales. Conclusiones

- El área de Puesto de los Caminos está conformada por un sistema de fracturación donde se pueden identificar una estructura semicircular interna de ~2,4 km de largo, en la cual se alojan distintos tipos de brecha, y una estructura externa de ~9 km de largo, que aloja el *roof pendant* de ~6 km<sup>2</sup> de metagrauvascas y filitas de Rodeito.
- El cuerpo de brecha tiene variaciones estructurales, texturales y litológicas en sentido vertical, pasando de una brecha en rompecabezas de pórfido riolítico en el nivel inferior, a una brecha de harina de roca heterolitológica (pórfido riolítico, areniscas, metamorfitas) en el nivel medio, para culminar en una brecha de colapso – explosión en el nivel topográfico superior (areniscas).
- Con un criterio genético se clasifica al conjunto de la brecha como una brecha magmática.
- La estructura podría relacionarse con el emplazamiento somero de un cuerpo de magma ácido a intermedio, que habría generado una “tumescencia” o arqueamiento de las litologías suprayacentes.

• Se consideran domos resurgentes a los cuerpos de monzogranitos miarolíticos de la unidad Puesto de los Caminos ubicados en el centro y en el sur de la estructura, que se habrían formado a partir del ascenso de magma en las zonas de intersección de fracturas regionales con las semicirculares, coincidentes con áreas de contacto entre intrusiones preexistentes. La participación del monzogranito miarolítico de Potrerillos como fragmentos de la brecha en su borde sur, indicaría la existencia de más de un evento de colapso. Otra hipótesis factible sería concebir la existencia de estos granitos miarolíticos previos al colapso, en cuyo caso representarían un evento magmático coetáneo con la fase de tumescencia y de ascenso de magmas desde la cúpula de la cámara magmática en evolución.

• En Puesto de los Caminos no hay registro de depósitos piroclásticos, lo cual puede interpretarse como que: a) No se produjo erupción de piroclastitas, generándose el sistema en niveles subsuperficiales; b) Se produjo una emisión piroclástica de volumen acotado con relación a las dimensiones de la actual estructura y los productos fueron eliminados por la erosión; c) Se produjo una erupción significativa, la cual fue completamente erosionada en la zona pero remanentes en áreas distales. Las ignimbritas riolíticas neoproterozoicas intercaladas con las metasedimentitas de la Fm. La Lidia-Símbol Huasi (Llambías *et al.*, 2003), ubicada aproximadamente 40 km al sur de Puesto de Los Caminos, no podría vincularse a este evento dado que son más antiguas ( $584 \pm 22 / -14$  Ma; U/Pb convencional en circón) que los intrusivos miarolíticos de Puesto de Los Caminos ( $523 \pm 4,4$  Ma, Rb/Sr en roca total; Millone *et al.*, 2003 b). Considerando toda la evidencia geológica (edad, dimensiones, posición estructural, litología), la más sustentable es la primera opción que supone la inexistencia de la emisión piroclástica, como ocurre en los casos de brechas magmáticas - hidrotermales formadas en conductos ("pipes") en profundidad.

• Las asociaciones minerales de alteración-mineralización pre-brechamiento incluyen a biotita-magnetita-pirita-calcopirita de distribución diseminada, y a cuarzo-pirita-calcopirita y cuarzo-calcosina en venillas. Las fases de depositación post-brechamiento, pervasivas aunque de distribución localizada, son: hematita, caolinita, illita, sericita, calcita y goethita; cuarzo (calcedonia), baritina, óxidos de Mn-Ba y rara fluorita son fases de relleno.

• La actividad hidrotermal post-brechamiento ha sido de temperaturas bajas. A pesar que no se han estudiado las relaciones paragenéticas entre baritina, argilominerales y filosilicatos, las temperaturas mínimas de entrapamiento de inclusiones fluidas en baritina (180-220°C) señalan aproximadamente el mismo rango térmico sugerido por la presencia de caolinita (150-200°C; pH= 3 a 4, Corbett y Leach, 1995) y la coexistencia de illita en proporción minoritaria, la cual indicaría una transición hacia fluidos menos ácidos (pH 4 a 5) y temperaturas algo más elevadas (200-250°C).

• La edad de los minerales post-brechamiento no ha sido determinada. Algunas asociaciones minerales (i.e., óxidos de Mn-Ba, baritina) podrían vincularse al evento de mineralización regional de Mn en el Cretácico.

• La geoquímica de elementos metalíferos fue discriminada en tres grupos: asociaciones pre-brechamiento, post-brechamiento y en diques riolíticos. La anomalía geoquímica pre-brechamiento está integrada por Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Cd; en términos de FDE, los más marcados se dan en el Cu, con enriquecimientos leves en el caso del Pb, Zn, Mo y Cd. El segundo grupo presenta la misma anomalía geoquímica, aunque de menor envergadura; se observan enriquecimientos medios (FDE > 10) en el Cd y leves (FDE < 10) en el Au, Pb, Zn y Sb. El enriquecimiento en Cd está ligado a la anomalía de Zn y a la posible presencia de esfalerita; sin embargo, también podría vincularse a la existencia de calcopirita o de óxidos o carbonatos específicos.

• La información obtenida sugiere que el sistema de fracturación y brechamiento de Puesto de los Caminos responde a un modelo de conducto o tubo ("pipe") emplazado en niveles

subsuperficiales. Los signos de alteración hidrotermal y débil mineralización pre-brechamiento son de alta temperatura, similar a la alteración potásica en sistemas de cobres porfíricos; las evidencias de actividad hidrotermal post-brechamiento indican carácter pervasivo aunque puntual, con fases de menor temperatura y pH, típicas de yacimientos epitermales. El sistema se habría desarrollado en las etapas finales de la Orogenia Pampeana.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen a Claudia Ocanto y a Juan P. Ramognino por su trabajo en cartografía Cad y cartografía 3D; a Rodolfo Moreno por su apoyo en los trabajos de campo; a la Dra. Beatriz Coira por sus importantes observaciones sobre el modelo genético de brechamiento; a Gisela Pettinari por su trabajo en DRX y MEB en minerales de las arcillas y a la empresa BHP World Minerals por la cesión de resultados de análisis geoquímicos e información cartográfica. Este trabajo se concretó con el apoyo de la ANPCYT (PICT 07-03581 y PICT-R 179).

## Referencias

- Baker, E.M. y Tullemans, F.J. 1990. Kidston gold deposit. En: F.E. Hughes (Ed.), *Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne: 1461-1465.
- Bonalumi, A.A., 1988. Características petrológicas y geoquímicas de los granitoides asociados a la mineralización de manganeso en el norte de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero, República Argentina. V *Congreso Geológico Chileno*, Actas 2: 47-61.
- Brodtkorb, M. y Etcheverry, R.O. 2000. Edad K/Ar de la mineralización de manganeso de Aguada del Monte, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(3): 280-283.
- Castellote, P. 1982. La Formación La Clemira y edad de su metamorfismo (Sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*, 14 (1): 71-76.
- Castellote, P. 1985. Algunas observaciones geológicas en la Sierra de Ambargasta y Sumampa (Provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*, 16 (2): 259-269.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. 1995. Southwest Pacific Rim Gold/Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization. *Exploration Workshop*, La Serena, Chile. 162 pp.
- Correa, M.J. 2003. Petrología y edad K/Ar de diques relacionados a la Formación Oncán, Sierra de Ambargasta, Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (4): 664-668.
- Elortegui Palacios, J. 2002. Petrología y geoquímica de las rocas granitoides entre Villa de María de Río Seco y Estancia El Jarillal, batolito Sierra Norte - Ambargasta, Córdoba. *Trabajo Final, Escuela de Geología, Hemeroteca Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*: 83p., 1 mapa. (Inédito).
- Elortegui Palacios, J., Lira, R., Poklepovic, F. y Dorais, M.J. 2006. El Granito Calasuya: un intrusivo alcalifeldespático postcolisional en el Batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (Enviado).
- Fridrich, C.J., Smith, R.P., Dewitt, E.D. y McKee, E.H. 1991. Structural, eruptive, and intrusive evolution of the Grizzly Peak caldera, Sawatch Range, Colorado. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 1160-1177.
- Furnell, R.G., Tullemans, F.J. y Millis, T. 1995. Kidston: an exploration case history. *Mineral Deposits of Northeast Queensland: Geology and Geochemistry*, 17<sup>th</sup> IGES: 209-230.
- González, R.R., Cabrera, M.A., Bortolotti, P., Castellote, P., Cuenya, M.P., Omil, D.M., Moyano, R.O. y Ojeda, J.R. 1985. La actividad eruptiva en Sierras Pampeanas. Esquematización geográfica y temporal. *Acta Geológica Lilloana*, 16 (2): 289-318.
- Guilbert, J.M. y Park, C.F. Jr. 1986. The Geology of Ore Deposits. *Freeman and Company*, Nueva York, 985 pp.

- Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic related hydrothermal systems in the Circum Pacific Basin. En: M.K Horn (Ed.), *Transactions Fourth Circumpacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, Oklahoma: 513-523.
- Hedenquist, J.W. y Henley R.W. 1985. Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization. *Economic Geology*, 80: 1640 - 1668.
- Koukharsky, M., Munizaga, F., Leal, P., Correa, M.J. y Brodtkorb, M.K. 1999. New K/Ar ages in the Ambargasta and Norte de Córdoba Ranges, Argentina. *II South American Symposium on Isotope Geology*, Carlos Paz, Argentina, Actas: 76-77.
- Kraemer, P., Escayola, M.P. y Sfragulla, J. 1995. Dominios tectónicos y mineralización en el basamento de las Sierras Pampeanas de Córdoba. *Actas del XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Tomo II: 239-248.
- Leal, P.R. 2002. Petrología de las rocas ígneas que albergan a la mineralización de manganeso del norte de la provincia de Córdoba. En: N. Cabaleri, C.A. Cingolani, E. Linares, M.G. Lopez de Luchi, H.A. Otera y H.O. Panarello, (Eds.), *XV Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Santa Cruz, Actas 2: 3-8.
- Leal, P.R., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S, Miró, R.C. y Ramos, V.A. 2003. Volcanismo postorogénico en el extremo norte de las Sierras Pampeanas Orientales: Nuevos datos geocronológicos y sus implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (4): 593-607.
- Lipman, P.W. 1984. The roots of ash flow calderas in western North America: windows into the tops of granitic batholiths. *Journal of Geophysical Research*, 89 -B10: 8801-8841.
- Lira, R., Martínez, V. y Millone, H.A. 1997a. Sierra Norte Project, Córdoba province. Geology and Geochemistry. *BHP World Minerals, Unpublished Report*, 78 pp., 4 appendixes, 36 maps.
- Lira, R., Millone, H.A., Kirschbaum, A.M. y Moreno, R.S. 1996. Granitoides calcoalcalinos de arco magmático en la Sierra Norte de Córdoba. *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Actas III: p. 497.
- Lira, R., Millone, H.A., Kirschbaum, A.M. y Moreno, R.S. 1997 b. Calc-Alkaline Arc Granitoid Activity in the Sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10 (2): 157-177.
- Lira, R., Moreno, R.S. y Millone, H.A. 1995. Sistemas de alteración porfiricos con sulfuros de cobre y molibdeno en el basamento eopaleozoico de la Sierra Norte de Córdoba, Argentina. *V Congreso Nacional de Geología Económica*, San Juan, Actas: 426-430.
- Llambías, E.J., Gregori, D., Basei, M.A., Varela, R y Prozzi, C. 2003. Ignimbritas riolíticas neoproterozoicas en la Sierra Norte de Córdoba: ¿Evidencia de un arco magmático temprano en el ciclo Pampeano? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (4): 572-582.
- Lucero Michaut, H.N., 1979. Sierras Pampeanas del norte de Córdoba, sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. En: *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 1: 293-348.
- Lucero Michaut, H.N., Gamkosián, A., Jarsún, B., Zamora, E., Sigismondi, M., Miró, R. y Caminos, R. 1995. Mapa geológico de la provincia de Córdoba. República Argentina. Escala 1:500.000. *Secretaría de Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico*. Buenos Aires.
- Lucero, H.N. 1969. Descripción geológica de las hojas 16h, Pozo Grande y 17h, Chuña Huasi, Provincias de Córdoba y Santiago del Estero. *Dirección Nacional de Geología y Minería*, Boletín 107, Buenos Aires: 39 pp., 4 planos, 10 figuras.
- Martino, R., Pinceyra, R., Guerreschi, A. y Sfragulla, J. 1999. La faja de deformación Sauce Punco, Sierra Norte de Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54 (4): 436-440.

- Martino, R.D. y Guerreschi, A.B. 2002. Yacencia, estructura interna y evolución estructural de los hornfels de La Clemira, Sierras de Ambargasta, Santiago del Estero, Argentina. En: N. Cabaleri, C.A. Cingolani, E. Linares, M.G. López de Luchi, H.A. Otera y H.O. Panarello, (Eds.), *XV Congreso Geológico Argentino*, Actas I: 184-187.
- Martino, R.D., Collo, G. y Pinceyra, R.A. 2004. Las metamorfitas de bajo grado del oeste de San Francisco de Chañar: caracterización petrográfica y estructura interna, Sierra Norte de Córdoba. *Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación especial, N° 7*: 76-81.
- Massabie, A., Mutti, D. y Nestiero, O. 2002. Edad, afinidades geoquímicas y tectónicas del pórfido riolítico de La Lidia, Sierra Norte de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57 (1): 80-84.
- Massabie, A., Mutti, D., Sanguinetti, A., Cegarra, M. y Mozetic, M. 1997. Fases de deformación dúctil en formaciones eopaleozoicas de la sierra de Ambargasta, Santiago del Estero, y su significado estratigráfico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (2): 209-218.
- McCallum, M.E. 1985. Experimental evidence for fluidization processes in breccia pipe formation. *Economic Geology*, 80: 1523 - 1543.
- Millone, H.A. 2004. Geoquímica y metalogénesis de sistemas hidrotermales con metales base, plata y oro en el basamento neoproterozoico de la Sierra Norte de Córdoba, Argentina. *Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*, 520 pp. (Inédita).
- Millone, H.A., Moreno, R.S., Lira, R. y Kirschbaum, A.M. 1994. An ancient collapse breccia and caldera-type structures spatially associated with regional Mn-Ba mineralization in the Sierra Norte ranges, Córdoba province, Argentina. *9<sup>th</sup> Symposium of International Association on the Genesis of Ore Deposits*, Beijing, China, Actas1: 249-252.
- Millone, H.A., O'leary, M.S., Tassinari, C.C.G. y Lira, R. 2003 a. Tectonic setting and preliminary age of hydrothermal systems in low grade metasedimentary sequences, Sierra Norte de Córdoba, Argentina. *IV South American Symposium on Isotope Geology*, Salvador, Brasil, Short papers (II): 744-747.
- Millone, H.A., Tassinari, C.C.G., Lira, R. y Poklepovic, M.F. 2003 b. Age and strontium-neodymium isotope geochemistry of granitoids of the Sierra Norte-Ambargasta batholith, central Argentina. *IV South American Symposium on Isotope Geology*, Salvador, Brasil, Short papers, (II): 617-620.
- Miró, R. y Saap, M. 2005. Hoja Geológica 2963-III - Villa Ojo de Agua. Boletín 315. *Instituto de Geología y Recursos Minerales*, Buenos Aires: 59 pp., 1 mapa.
- Miró, R., Gaido, M.F. y Candiani, J.C. 1999. Fajas de deformación del batolito Sierra Norte de Córdoba y Santiago del Estero. *XIV Congreso Geológico Argentino*, Salta, Actas I: 152-155.
- Miró, R.C., Schwartz, J. y Gromet, P. 2004. Magmatismo calcoalcalino en la Sierra Norte de Córdoba. Su extensión temporal. En: F.G. Aceñolaza, G.G. Aceñolaza, M. Hünicken, J.N. Rossi y A.J. Toselli, (Eds.), *Simposio Bodenbender*, INSUGEO, Serie Correlación Geológica 19: 199-210.
- Moreno, R.S., Bonalumi, A.A. y Millone, H.A. 1988. Estudio petroestructural del distrito manganesífero de Pozo Nuevo - Departamento Sobremonte - Provincia de Córdoba. *V Reunión de Microtectónica*, Córdoba, Actas: 51-56.
- Nelson, C.E. y Giles D.L. 1985. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits. *Economic Geology*, 80: 1633-1639.
- O'Leary, M.S. 2004. Petrología, geoquímica y alteraciones de cuerpos hipabisales menores del sector centro-occidental del batolito de la Sierra Norte-Ambargasta, provincias de Córdoba y Santiago del Estero, Argentina. *Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*, 323 p. (Inédita).

- O'Leary, M.S., Lira, R., Dorais, M.J. y Tassinari, C.C.G. 2006 a. Post-collisional lamprophyric event in Sierra Norte, Córdoba, Argentina: mineralogical, geochemical and isotopic characteristics. (*Enviado al Journal of South American Earth Sciences*).
- O'Leary, M.S., Tassinari, C.C.G. y Lira, R. 2006 b. Sr, Pb, and Nd isotopic signature of calc-alkaline porphyry dykes from the Sierra Norte-Ambargasta batholith, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *V South American Symposium on Isotope Geology* (en prensa).
- Orr, T.H. 1995. The Mt Leyshon gold mine: geology and mineralisation. *Mineral Deposits of North-east Queensland: Geology and Geochemistry*. 17<sup>th</sup> IGES: 117-135.
- Poklepovic, M.F. y Lira, R. 2002. Metasomatismo alcalino y venas de anfíbol+magnetita+apatita asociados al plutón dacítico-riolítico Cerro de Los Burros, Sierra Norte de Córdoba, Argentina. En: N. Cabaleri, C.A. Cingolani, E. Linares, M.G. Lopez de Luchi, H.A. Ostera y H.O. Panarello, (Eds.), *XV Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Santa Cruz, Actas 1: 428-429.
- Poklepovic, M.F. y Lira, R. 2005. Quimismo de sericitas: evaluación de la interacción fluido-roca en greisens del batolito de Sierra Norte-Ambargasta. En: E. Llambías, R. de Barrio, P. González y P. Leal, (Eds.), *XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Actas 1: 515-520.
- Poklepovic, M.F., Lira, R., Dorais, M.J. y Millone, H.A. 2005. Consideraciones geobarométricas de los granitoides calco-alcalinos del batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba, Argentina. En: E. Llambías, R. de Barrio, P. González y P. Leal (Eds.), *XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Actas I: 619-626.
- Ramé, L.G., Lira, R. y Gay, H.D. 1999. La mineralización de manganeso del norte de la provincia de Córdoba. *XIV Congreso Geológico Argentino*, Salta, Actas II: 306-309.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America - a collisional history. *Episodes*, 11(3): 168-174.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J. y Bonalumi, A.A. 1991. Edad y geoquímica del pórfido granítico de Oncán, Sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. *6º Congreso Geológico Chileno*: 19-22.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C.M. 1998. The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba En: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (Eds.), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London Special Publication, 142: 181-217.
- Rytuba, J.J. 1991. Evolution of volcanic and tectonic features in caldera settings and their importance in the localization of ore deposits. *Economic Geology*, 89: 1687-1696.
- Rytuba, J.J. 1992. Evolution of volcano-tectonic features during the caldera cycle and relation to ore forming processes. En: *Procesos formadores de depósitos epitermales de metales preciosos. Seminario Taller. Servicio Nacional de Geología y Minería*, Santiago de Chile: 37-42.
- Scandone, R. 1990. Chaotic collapse of calderas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 42: 285-302.
- Sillitoe, R. 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology*, 80: 1467-1514.
- Sims, J.P., Ireland, T.R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R.G., Stuart-Smith, P.G. y Miró, R. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela, (Eds.), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London Special Publication 142: 259-281.
- Söllner, F., Leal, P.R., Miller, H. y Brodtkorb, M.K. 2000. Edades U/Pb en circones de la riocacita de la Sierra de Ambargasta, provincia de Córdoba. En: I. Schalamuk, M.K. Brodtkorb, y R. Etcheverry, R. (Eds.), *Mineralogía y Metalogenia 2000*, INREMI, La Plata, Publicación (6): 465-469.

- Taylor, R.G. y Pollard, P.J. 1993. Mineralized breccia systems: methods of recognition and interpretation. *Contribution 46. Economic Geology Research Unit. Key Centre in Economic Geology*, Australia: 31 pp.
- Taylor, S.R. y McLennan, S.M. 1985. The Continental Crust: its Composition and Evolution. *Blackwell Scientific Publications*. Gran Bretaña, 312 pp.
- Vlasov, K.A. 1966. Geochemistry of Rare Elements. En: K.A. Vlasov, (Ed.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Elements and Genetic Types of Their Deposits*, S. Monson Wiener Bindery Ltd., Jerusalén: 688 p.
- Wilson, G.I., Lewis, R.W., Gallo, J.B. y Tullemans F.J. 1986. The geology of the Kidston gold mine. En: D.A. Berkman (Ed.), *Publications of the 13<sup>th</sup> Council of Mining and Metallurgical Institutions (CMMI) Congress, Geology and Exploration*, 2: 235-242.
- Yang, S.X. y Blum, N., 1999. Arsenic as an indicator element for gold exploration in the region of the Xiangxi Au-Sb-W deposit, NW Hunan, PR China. *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 441-456.

**Recibido:** 8 de mayo de 2006

**Aceptado:** 10 de septiembre de 2006

Este libro fue editado por



San Miguel de Tucumán - Diciembre 2006

Tel.: (0381) 4232208

E-mail: [editmagna@hotmail.com](mailto:editmagna@hotmail.com)

[info@edicionesmagna.com.ar](mailto:info@edicionesmagna.com.ar)

[www.edicionesmagna.com.ar](http://www.edicionesmagna.com.ar)

