

Vetas mesotermales de Pb-Zn-Ag-Au emplazadas al este del Batolito Cerro Áspero, Sierra de Comechingones, Córdoba

María Natalia MAFFINI^{1,2}, Jorge E. CONIGLIO², Manuel DEMARTIS^{1,2}, Fernando J. D'ERAMO^{1,2}, Lucio P. PINOTTI^{1,2}, Ignacio BIN² y Hugo A. PETRELLI²

Resumen: En este trabajo se presenta un modelo descriptivo de vetas mesotermales portadoras de Pb-Zn-Ag-Au hospedadas en milonitas de la Faja de Cizalla Guacha Corral (FCGC) a ~2 km al este del Batolito Cerro Áspero (BCA) en la Sierra de Comechingones, Córdoba. Las mineralizaciones conforman cuerpos tabulares de alto buzamiento, con un control estructural marcado y un desarrollo longitudinal discontinuo en dirección NO-SE que alcanza los 8 km. Las vetas mayores poseen potencias entre 0,2 y 1 m y se asocian con vetillas menores que definen diversos juegos secundarios. Están compuestas principalmente de cuarzo que es portador de una variedad de sulfuros, óxidos y carbonatos, tanto de origen hipogénico como supergénico. Los mayores tenores de metales preciosos se registraron en las zonas de oxidación de los depósitos, con valores entre 1,63-3,57 g/t de Au y 149-216 g/t de Ag. La alteración hidrotermal de las rocas de caja es común y en sectores muy desarrollada. Consiste principalmente de sericitización penetrativa y hematización de moderada a fuerte intensidad que se desarrolla en venillas tensionales. Subordinadamente ocurren silicificación y carbonatación. Las relaciones de campo, evidencias estructurales, microestructurales y petrográficas sugieren que el emplazamiento de estos depósitos ha ocurrido posteriormente a la última fase de deformación de la FCGC, bajo un régimen de cizalla simple. La vinculación de las mineralizaciones con el BCA no ha podido establecerse aún en este modelo descriptivo. Los estudios a futuro están principalmente orientados a determinar la influencia del magmatismo devónico como un posible metalotecto de las mineralizaciones.

Abstract: *MESOTHERMAL Pb-Zn-Ag-Au VEINS EMPLACED EAST OF THE CERRO ÁSPERO BATHOLITH, SIERRA DE COMECHINGONES, CÓRDOBA.* This paper presents a descriptive model of mesothermal Pb-Zn-Ag-Au veins hosted in mylonitic rocks of the Guacha Corral shear zone, located ~2 km east of the Cerro Áspero Batholith (BCA) in the Sierra de Comechingones, Córdoba. The mineralization occurs as steep-dipping tabular veins with a marked structural control and discontinuous longitudinal development in a NW-SE direction reaching 8 km. The major veins are 0,2-1 m thick and are associated with profuse veinlets. They consist mainly of quartz containing a variety of sulfides, oxides and carbonates, of both hypogene and supergene origin. The largest tenors of precious metals were found in the oxidation zones of the deposits, with values ranging from 1.63 to 3.57 g/t Au and 149 to 216 g/t Ag. Hydrothermal alteration of the host rocks is common and highly developed in many areas around the veins. It mainly consists of penetrative sericitization and moderate to strong hematization that develops in tension veins. Silicification and carbonation occur subordinately. Field relations, structural evidences and microstructural and petrographic analysis suggest that the emplacement of these deposits occurred after the last deformation phase of the Guacha Corral Shear Zone, under a simple shear deformation condition. The relations between the Pb-Zn-Ag-Au deposits and the BCA has not been completely established. Current research is mainly aimed at determining the influence of devonian magmatism as a possible mineralization metalotect.

Palabras clave: Vetas mesotermales. Control estructural. Metales preciosos. Faja de Cizalla Guacha Corral. Sierra de Comechingones.

Key words: Mesothermal veins. Structural control. Precious metals. Guacha Corral shear zone. Sierra de Comechingones.

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

E-mail: nmaffini@exa.unrc.edu.ar; mdemartis@exa.unrc.edu.ar; fjderamo@exa.unrc.edu.ar; lpinotti@exa.unrc.edu.ar

² Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. 36-Km 601. Código Postal 5804.

E-mail: jconiglio@exa.unrc.edu.ar; nachobin89@hotmail.com; hpirelli@exa.unrc.edu.ar

Introducción

Las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años respecto de las relaciones entre tectónica regional, transporte y emplazamiento de magmas graníticos, han permitido avanzar en la comprensión de la evolución geológica de los cinturones orogénicos, involucrados también los aspectos metalogenéticos. En diversos ambientes tectónicos existe una asociación espacial entre procesos de ascenso y emplazamiento de magmas y zonas de deformación dúctil - frágil (Ingram y Hutton, 1994; Brown y Solar, 1998; Druguet y Hutton, 1998). Las fajas de deformación como zonas concentradoras de los procesos de transferencia de masas en la corteza, constituyen importantes metalotectos que favorecen la ocurrencia y el emplazamiento de variados depósitos minerales, entre los que se destacan las vetas mesotermas de Au (Zappettini, 1999), denominadas por algunos autores depósitos tipo *Lode* (Nesbitt *et al.*, 1986; Bierlein y Crowe, 2000; Skirrow *et al.*, 2000). En Argentina, en el ámbito de las Sierras Pampeanas Orientales, afloran importantes fajas de cizalla famatinianas (Martino, 2003; Fagiano *et al.*, 2004; Fagiano, 2007) que hospedan este estilo de mineralización como así también numerosos depósitos polimetálicos (W, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Bi, Mo, Be, Sb, U, Ta, As) que ocurren próximos a granitoides. En general conforman varios distritos ubicados principalmente en las provincias de Córdoba, San Luis y La Rioja, sin embargo en muchos casos no existen estudios precisos que demuestren un vínculo genético entre las mineralizaciones y los granitoides. En el presente trabajo se exponen los primeros resultados de un estudio geológico-metalogenético de vetas portadoras de Pb-Zn-Ag-Au que afloran en el sector central de la Sierra de Comechingones (porción más austral de las Sierras de Córdoba), en el ámbito de la Faja de Cizalla Guacha Corral (FCGC) a ~2 km al este del Batolito Cerro Áspero (BCA) de edad devónica (*Figura 1*).

Se ha elaborado la cartografía geológica-metalogenética y se ha realizado la descripción petro-estructural y mineralógica de los depósitos, comprendiendo un área de ~40 km² en los alrededores del campo Las Guindas, propiedad de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Esta contribución constituye un aporte inédito a la metalogénesis de metales base y preciosos de la Sierra de Comechingones. Actualmente se están llevando a cabo estudios específicos mineralógicos, de química mineral, isótopos estables e inclusiones fluidas que permitirán determinar a futuro las características físico-químicas de los fluidos hidrotermales formadores de las menas, como así también estudios geocronológicos que permitirán vincular estas mineralizaciones con la evolución geológica-metalogenética de las Sierras Pampeanas.

Reseña geológica-metalogenética regional

Las rocas cristalinas de las Sierras Pampeanas Orientales han evolucionado durante tres eventos orogénicos distintos desde el Eopaleozoico (Otamendi *et al.*, 2004): La Orogenia Pampeana, que alcanzó su punto máximo en el Cámbrico Temprano, dio lugar a la formación de diversos macizos migmáticos como resultado de un extenso metamorfismo regional, fusión parcial y una constante actividad tectónica. La Orogenia Famatiniana, iniciada en el Ordovícico, causó la retrogradación de las paragénesis metamórficas y la readaptación textural de las secuencias cámbricas en un ambiente cortical dúctil. La expresión más representativa de este evento en las Sierras de Córdoba son las fajas de cizalla, que constituyen extensos afloramientos de rocas miloníticas. En los períodos post-famatinianos la perturbación de la corteza derivó en un magmatismo granítico y las secuencias cristalinas pampeanas

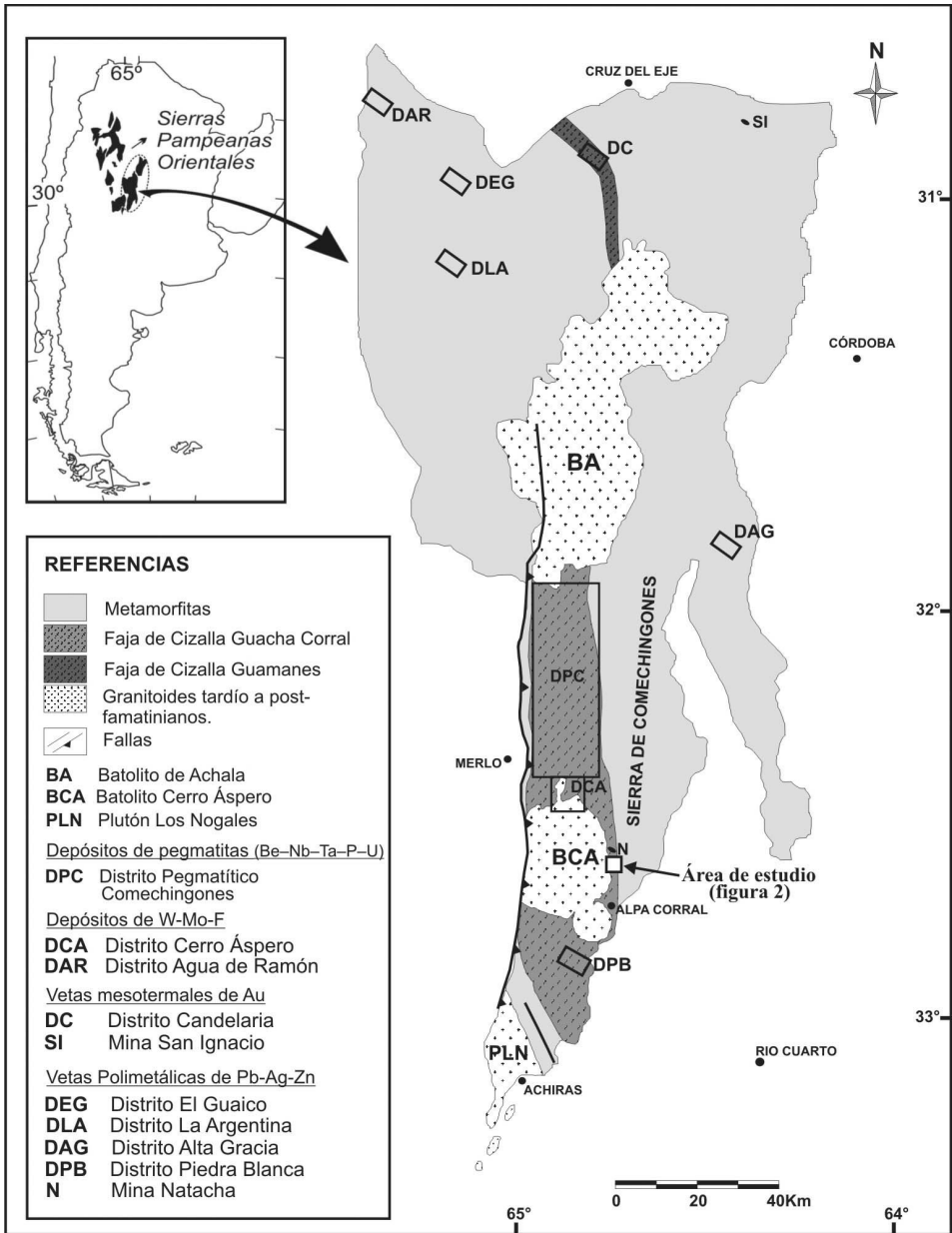


Figura 1. Mapa simplificado de las Sierras de Córdoba con la ubicación del área de estudio y de los principales distritos pegmatíticos y de vetas mesotermiales de Au y polimetálicas.

y famatinianas fueron intruidas por plutones monzograníticos principalmente de edad devónica (Rapela *et al.*, 1998; Pinotti *et al.*, 2002 y 2006). Algunos autores (e.g. Sims *et al.*, 1998) definen a este período como Ciclo Achaliano.

Los depósitos vinculados con la Orogenia Famatiniana en las Sierras Pampeanas incluyen diversos distritos pegmatíticos que fueron asignados por Galliski (1994) a la Provincia Pegmatítica Pampeana. En la Sierra de Comechingones afloran numerosas pegmatitas emplazadas en rocas miloníticas de la FCGC que conforman el Distrito Pegmatítico Comechingones (DPC; *Figura 1*) (Galliski, 1999). Demartis (2010) diferenció dos tipos de pegmatitas para el sector sur de este distrito: pegmatitas zonadas portadoras de mineralizaciones de Be-Nb-Ta-P-U y pegmatitas no zonadas ricas en cuarzo. El emplazamiento de ambas tipologías ha ocurrido de manera sin-cinématica con la deformación de la FCGC, que posee una mecánica compresiva inversa (Demartis *et al.*, 2011). Esta faja de cizalla se encuentra intruida por el BCA, cuya metalogénesis fue documentada por Coniglio (2006). Este autor identificó para la etapa sinbatolítica mineralizaciones de W-Mo-F asociadas espacial y genéticamente con las etapas tardías del magmatismo. Dichos depósitos se encuentran agrupados al norte del BCA y conforman el Distrito Minero Cerro Áspero (*Figura 1*). Por otro lado, de acuerdo a Skirrow *et al.* (2000) los principales depósitos de Au y polimetálicos de las Sierras Pampeanas Orientales son el producto de una época metalogenética desarrollada entre los ~390 y ~360 Ma, al iniciarse la Orogenia Achaliana. Atribuyen a esta época la depositación de vetas de Au en los distritos Candelaria y San Ignacio (Sierra Grande de Córdoba) y en El Abra (Sierra de Las Minas, La Rioja), de Pb-Ag-Zn en los distritos El Guaico y La Argentina (Sierra Grande de Córdoba) y de W en el distrito Agua de Ramón (Sierra Grande de Córdoba) (*Figura 1*). Haerberlin *et al.* (2002) y Mutti *et al.* (2007) extendieron este período mineralizante entre los ~385 y ~290 Ma, correspondiente al Devónico Medio-Carbonífero Tardío. La mayor parte de estos depósitos se encuentran hospedados en zonas de cizalla dúctil-frágil y presentan como principales metalotectos vetas de cuarzo con un marcado control estructural, con máximos de frecuencia en las direcciones NO-SE y NE-SO. Para la Sierra de Comechingones, en el sur de Córdoba, existen escasos antecedentes de este estilo de mineralizaciones, pudiendo citarse los aportes de Estrella (1984) sobre la mina Natacha, Lapidus y Fernández Lima (1953) y Mutti y Di Marco (1999) sobre el Distrito Piedra Blanca (*Figura 1*).

Geología del área de estudio

Las vetas portadoras de Pb-Zn-Ag-Au se emplazan en rocas miloníticas de la FCGC, que en este sector de la Sierra de Comechingones presenta una orientación N-S y un ancho máximo aproximado de 4 km (*Figura 2*). Esta faja de deformación limita hacia el este con el Complejo Monte Guazú de edad cámbrica, constituido principalmente por migmatitas estromatíticas con menor participación de núcleos diatexiticos, anfibolitas y gneises biotítico granatíferos. Fagiano *et al.* (2004) definieron en el área de estudio un límite transicional entre la FCGC y el Complejo Monte Guazú, pudiéndose observar en diversos sectores la alternancia de discretas bandas o filetes miloníticos con las rocas migmatíticas (*Figura 2*). La actividad de la FCGC le imprime a las rocas del basamento una foliación milonítica penetrativa a escala regional que se caracteriza por presentar un patrón anastomosado, cuyo rumbo más frecuente es N350° pudiendo variar entre N315° - N335°, con buzamientos de mediano a alto ángulo hacia el este. Fagiano *et al.* (2004) y Fagiano (2007) denominaron S₃ a esta foliación

y atribuyeron su origen a un evento metamórfico-deformacional de carácter dinámico que comenzó en un dominio de corteza dúctil (M_{3a} - D_{3a}) estabilizado en facies de anfibolita media ($Qz+Bt+Sill$) y culminó en un dominio dúctil-frágil (M_{3b} - D_{3b}) equilibrado en facies de esquistos verdes ($Qz+Chl+Ms+Ser$). Los principales productos litológicos son rocas de la serie milonítica (protomilonitas, milonitas y ultramilonitas) que se encuentran distribuidas en el ámbito de la faja de cizalla y en menor medida dentro del macizo migmatítico. Hacia el extremo oeste del área de estudio afloran rocas monzograníticas del plutón El Talita, que corresponde a la unidad de mayores dimensiones del BCA (Pinotti *et al.*, 2002). Este cuerpo ígneo de edad devónica intruye discordantemente a las milonitas de la FCGC, truncando la foliación milonítica. En proximidades al contacto afloran potentes bancos de anfibolitas (*Figura 2*), generalmente concordantes con la estructura regional. Hacia el interior de la faja de deformación y también en la unidad migmatítica las anfibolitas conforman cuerpos aislados y de menores dimensiones, encontrándose interdigitados con las demás litologías. Además de los depósitos de Pb-Zn-Ag-Au abordados en el presente trabajo, se asocian con este sector del basamento metamórfico otros estilos de mineralización (*Figura 2*): 1) pegmatitas graníticas no zonadas, de morfologías ovoidales a irregulares, dimensiones que no superan los 10 m de largo y 5 m de ancho, emplazadas de manera concordante con la foliación de las migmatitas del Complejo Monte Guazú; 2) pegmatitas graníticas zonadas, de morfologías lenticulares a tabulares, dimensiones que alcanzan los 100 m de largo y 30 m de ancho, concordantes con la foliación milonítica de la FCGC; y 3) filones de cuarzo, de morfologías tabulares, dimensiones de hasta 60 m de largo y 8 m de ancho, concordantes con la foliación milonítica (Maffini, 2010).

Geología de las mineralizaciones de Pb-Zn-Ag-Au

YACENCIA Y ESTRUCTURA. Las vetas portadoras de Pb-Zn-Ag-Au conforman cuerpos tabulares de alto buzamiento, con un control estructural bien definido y orientaciones preferenciales NO-SE (*Figura 2*). Poseen un desarrollo longitudinal discontinuo que, en algunos casos, alcanza los 8 km. La potencia de las vetas mayores generalmente no supera 1 m, se encuentran acompañadas de vetillas menores que se anastomosan dentro de la estructura y definen diversos juegos secundarios (*Figura 3*). Maffini (2010) determinó 7 juegos estructurales en función de sus actitudes espaciales: el juego principal (1) que controla las vetas mayores y un número importante de vetillas, posee un rumbo de $N320^\circ$ con buzamientos de alto ángulo (55° - 85°) hacia el SO. Los juegos secundarios, de menor frecuencia estadística, presentan los siguientes rumbos y direcciones de buzamiento: (2) $N315^\circ/NE$; (3) $N270^\circ$ /subvertical; (4) $N290^\circ/SO$; (5) $N330^\circ/SO$; (6) $N200^\circ/SE$; (7) $N355^\circ/E$. En la región afloran tres vetas principales, la *Figura 4* es un mapa de detalle de un segmento de la veta 1 que es la de mayor longitud. Si se analizan los datos estructurales representados en esta figura, se observa la relación de discordancia entre la foliación milonítica (S_3) y los distintos juegos mineralizados. Un rasgo repetitivo en la mayoría de los afloramientos es la existencia de fragmentos de roca milonítica incorporados y rotados dentro de las vetas, como así también frecuentes bifurcaciones de vetillas, inflexiones de las estructuras y deflexiones de la foliación S_3 en proximidades de las vetas.

MINERALOGÍA. El cuarzo es el principal mineral que compone las vetas. Sobre la base de las relaciones texturales y estructurales observadas, se identificaron tres tipologías que claramente se corresponden con distintos estadios hipogénicos sucesivos de formación:

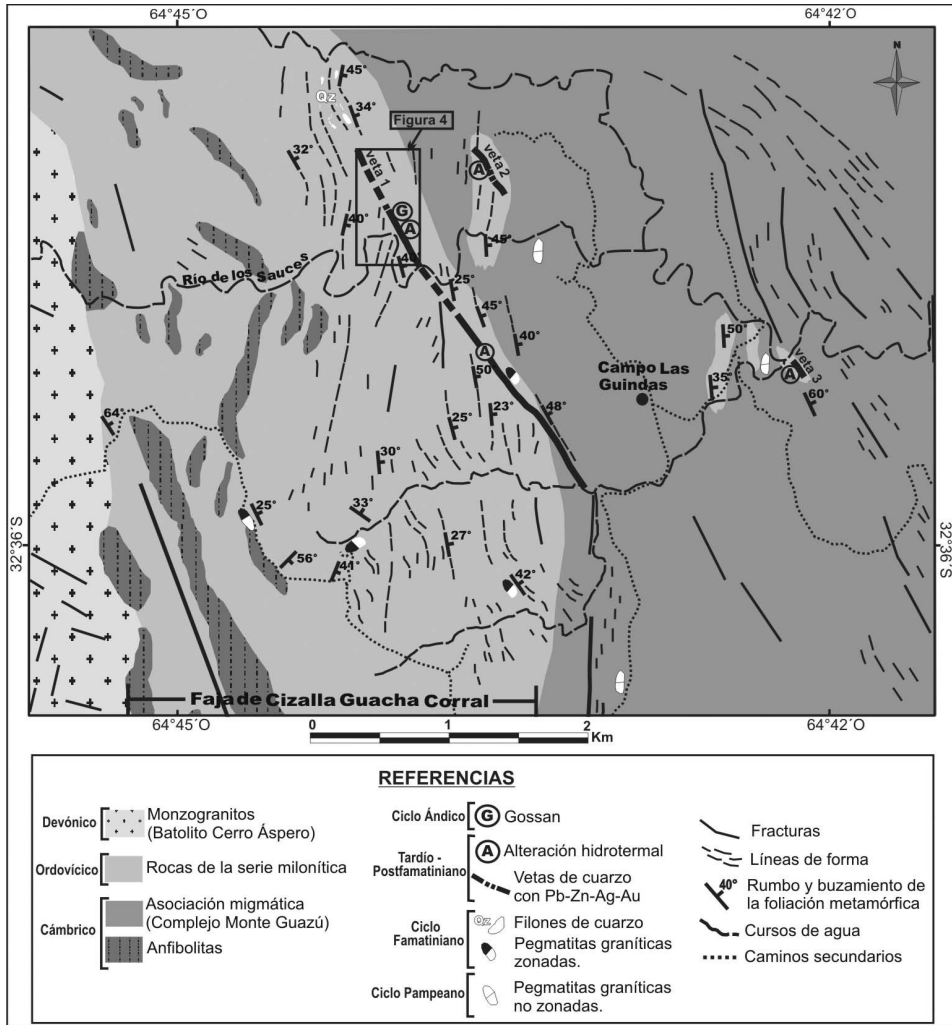


Figura 2. Mapa geológico-metalogenético del sector aledaño al campo Las Guindas, Sierra de Comechingones, Córdoba.

cuarzo blanco lechoso (I) de textura maciza a groseramente bandeada con presencia de *crack seals* y abundantes pátinas de limonita. Cuarzo hialino (II) de textura crustiforme asociado con sulfuros, óxidos de hierro y carbonatos. Cuarzo gris (III) crustiforme asociado con sulfuros, óxidos de hierro y carbonatos. Las vetas se componen de las tres variedades descritas y sus relaciones de corte evidencian múltiples episodios de reapertura y relleno dentro de una misma estructura. Los sulfuros hipogénicos identificados en las variedades portadoras son galena, calcopirita, pirita, esfalerita y bornita, los cuales se presentan diseminados o rellenando cavidades. Hematita y especularita son los óxidos primarios más abundantes y en sectores restringidos se ha observado rutilo. Los principales productos de alteración supergénica son limonita, malaquita, cerusita, anglesita y covellina. Es en el sector de la veta 1 donde la oxidación de los sulfuros de hierro se manifiesta con mayor intensidad, dando lugar a la formación de *gossans* (Figura 4). Aunque la galena corresponde al sulfuro más abundante,



Figura 3. Sección de afloramiento que evidencia las relaciones entre una veta principal de cuarzo y diferentes juegos de vetillas (Escala: brújula geológica de 14 cm de largo).

su distribución es irregular pudiéndose encontrar zonas de alta concentración alternando con zonas estériles a lo largo de toda la estructura.

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL. Uno de los metalotectos más conspicuos de las mineralizaciones es la alteración hidrotermal de sus rocas de caja que, en algunos casos, se extiende hasta aproximadamente 10 metros de distancia de las vetas mayores. Consiste esencialmente de sericitización penetrativa y hematización de moderada a fuerte intensidad que se manifiesta principalmente en venillas y grietas tensionales de espesores milimétricos a centimétricos. En sectores localizados se detectó silicificación y carbonatación a pocos centímetros de las vetas, siendo la siderita la especie carbonatada estable. El análisis petrográfico de las alteraciones hidrotermales permitió identificar dos generaciones de sericita. La primera de ellas (sericita 1) crece tanto en espacios intergranulares como en espacios intragranulares, reemplazando a los minerales preexistentes y obliterando las texturas y fábricas miloníticas originales. En la *Figura 5A* puede observarse el proceso de sericitización de un cristal de plagioclasa, que aún conserva relictos del maclado. La segunda generación de sericita (sericita 2) posee un tamaño más grueso que la anterior y crece siempre de manera radial sobre los bordes de venillas de hematita (*Figura 5B*), que frecuentemente se encuentran rellenas de cristales euhedrales y subhedrales de cuarzo sin signos de deformación ni recristalización. Ambas generaciones de sericita hidrotermal se encuentran a su vez asociadas a un tercer tipo, de características diferentes, observada en la matriz de las rocas miloníticas y también afectando a algunos porfiroclastos, cuyo origen puede atribuirse a la fase retrógrada (M_{3b} - D_{3b}) del evento de metamorfismo dinámico de la FCGC. La transformación de biotita en sericita/muscovita implica su desferrización y por lo tanto la liberación de una abundante

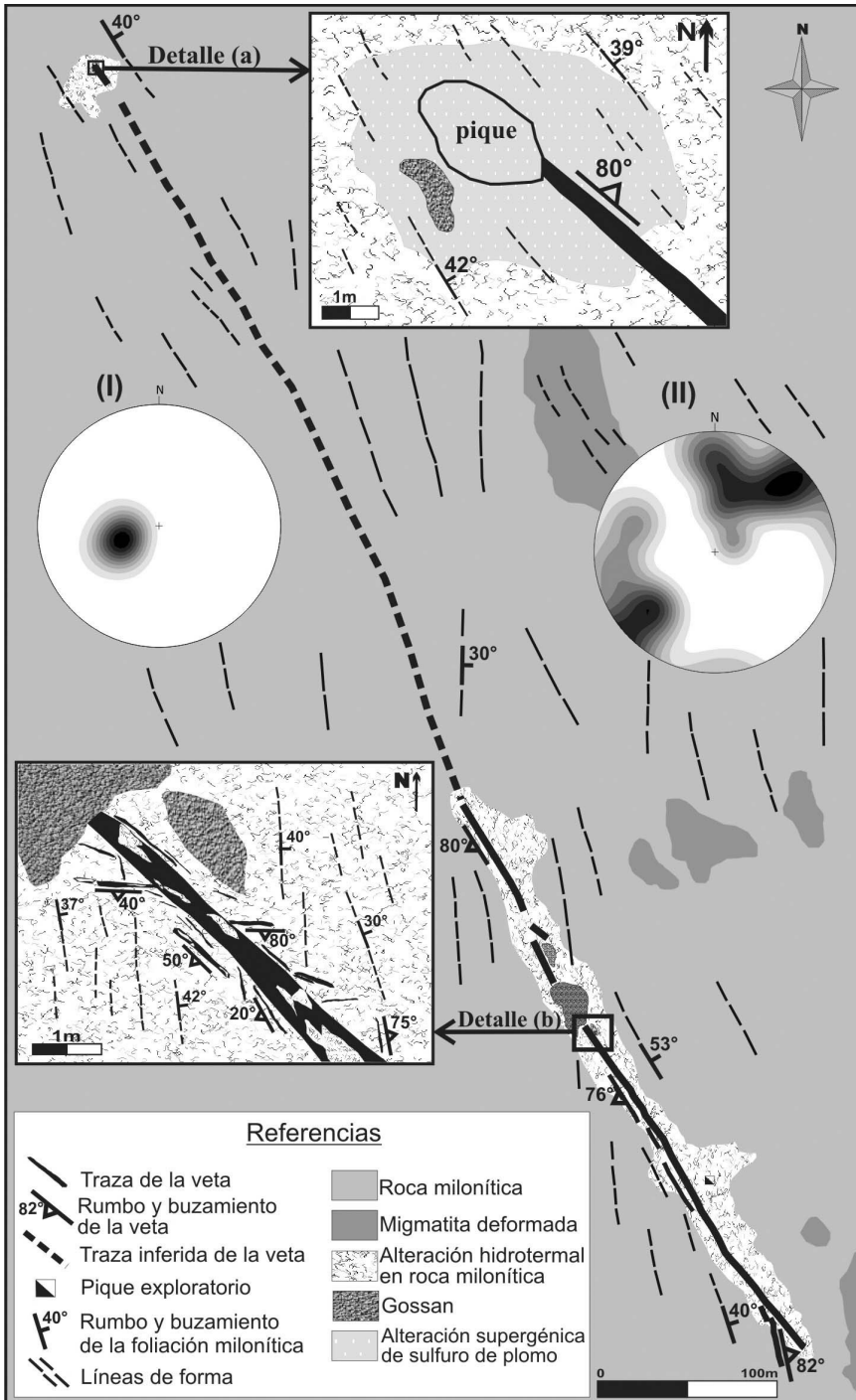


Figura 4. Mapa del extremo NO de la veta 1 y proyecciones estereográficas (hemisferio inferior de la red de Schmidt) mostrando la distribución de los polos de la foliación milonítica (estereograma I) y principales sistemas de vetas y vetillas de cuarzo (estereograma II).

cantidad de óxido de hierro que se presenta a modo de pequeños trazos o venillas en las superficies de las láminas de biotita y muscovita, y se extienden siguiendo la orientación de la foliación milonítica. La ocurrencia de sericita hidrotermal reemplazando a las láminas de muscovita con óxidos (Figura 5C) constituye una evidencia petrográfica importante que permite inferir que la muscovita retrógrada (generada por retrogradación de la faja de cizalla) ya se encontraba formada en el momento en que comenzó la actividad hidrotermal. Por otro lado, la alteración carbonática se observó sobreimpuesta a las alteraciones anteriores. Los cristales de siderita reemplazan al cuarzo hidrotermal de hábito euhédrico (Figura 5D) y se encuentran rellenando venillas que atraviesan sectores de roca previamente sericitizados.

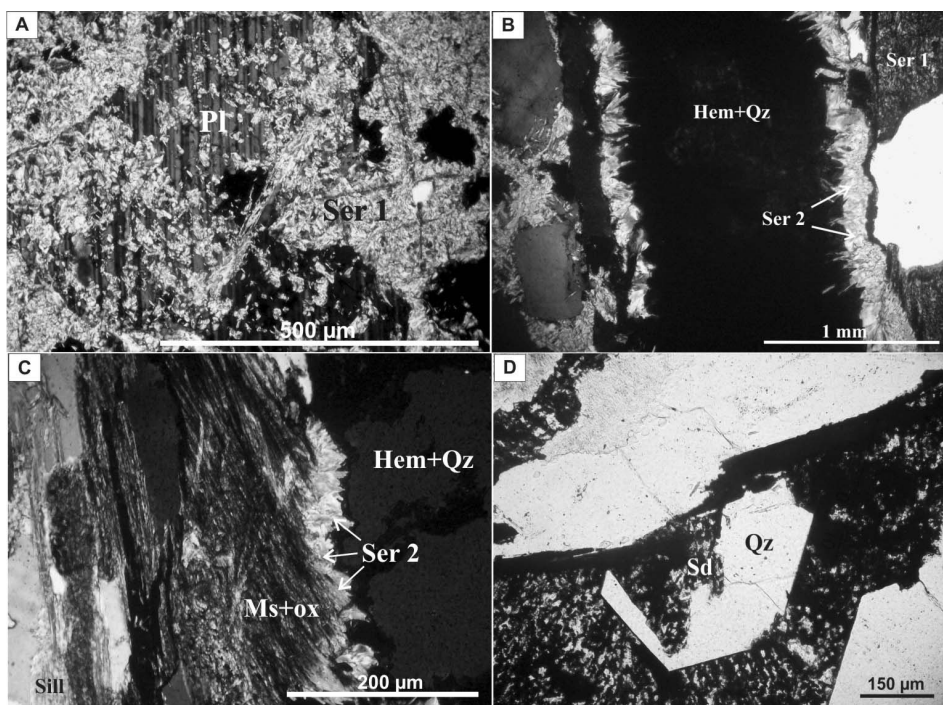


Figura 5. Fotomicrografías de alteraciones hidrotermales. A) Sericitización de plagioclasa. B) Venilla cuarzo-hematítica con crecimiento radial de sericita sobre sus bordes. C) Alteración sericitica afectando los extremos de láminas de muscovita retrógrada. D) Cristal euhedral de cuarzo parcialmente reemplazado por siderita.

GEOQUÍMICA DE METALES PRECIOSOS. Se realizaron análisis químicos por metales preciosos (Au y Ag) en 15 muestras correspondientes a las vetas con mineralización primaria, zonas de oxidación supergénica y rocas de caja con alteración hidrotermal. La mayor cantidad de muestras analizadas pertenecen al sector de la veta 1. Los estudios se efectuaron en los laboratorios de Assayers Argentina S.A., Mendoza. El Au fue determinado mediante el método combinado Ensayo a Fuego - Absorción Atómica, con LDI: 0,01 ppm y la Ag fue determinada mediante el método combinado de Ensayo a Fuego y micro-gravimetría con LDI: 1,0 ppm. Los resultados revelaron que los mayores tenores de Au se encuentran en las zonas de oxidación de los depósitos (*gossans*), con valores entre 1,63 y 3,57 g/t, mientras que las mayores concentraciones de Ag se manifestaron tanto en *gossans* como en rocas de caja proximales a las vetas, con tenores máximos de 149 – 216 g/t. Los estudios preliminares

realizados mediante microscopía de reflexión y microscopía electrónica con EDX no detectaron la existencia de minerales de Ag, por lo que probablemente este metal está hospedado en la estructura de la galena. Actualmente se están profundizando los estudios químicos y mineralógicos para determinar las fases que contienen los metales preciosos.

Discusión

MODELO DESCRIPTIVO. Las mineralizaciones descriptas en este estudio constituyen un sistema de vetas complejas que evidencian un evento hidrotermal multiepisódico con al menos tres fases de apertura y relleno. Los metalotectos estructurales que controlan el emplazamiento de estas mineralizaciones pueden correlacionarse con un conjunto de estructuras regionales NO-SE y NE-SO ampliamente distribuidas en el sur de las Sierras Pampeanas. La presencia de una zona de deformación dúctil-frágil como ambiente hospedante de los depósitos, la morfología de las vetas, su estructura interna, texturas, mineralogía y alteraciones hidrotermales asociadas, son atributos diagnósticos que concuerdan con el modelo de vetas mesotermas portadoras de Pb-Zn-Ag-Au asociadas con fajas de cizalla (Zappettini, 1999). Estos depósitos a su vez comparten ciertas características con los denominados tipo *Lode* (Nesbitt *et al.*, 1986; Bierlein y Crowe, 2000; Skirrow *et al.*, 2000), no obstante existen metalotectos de estos depósitos que no fueron observados en el área de estudio. La mayoría de los ejemplos mundiales de depósitos tipo *Lode* se encuentran distribuidos en terrenos de edad arcaica a fanerozoica, siendo esto inconsistente con las rocas que componen el basamento metamórfico de la Sierra de Comechingones.

VINCULACIÓN DE LAS MINERALIZACIONES CON LA EVOLUCIÓN GEOLÓGICA-METALOGÉNICA DE LA SIERRA DE COMECHINGONES. Si bien no se cuenta aún con dataciones geocronológicas que permitan establecer edades absolutas para las mineralizaciones, sobre la base de las relaciones de campo observadas es posible esbozar una integración regional de la metalogénesis para el sector centro-sur de la Sierra de Comechingones. Las pegmatitas zonadas y los filones ricos en cuarzo aflorantes en el área de estudio (Maffini, 2010) son correlacionables con las definidas por Demartis (2010) en el sur del DPC, y se considera que su emplazamiento ha sido controlado por la actividad compresiva de la FCGC (Demartis *et al.*, 2011). Los rasgos estructurales y microestructurales que fueron descriptos en este trabajo para las mineralizaciones de Pb-Zn-Ag-Au, tales como la ocurrencia de fragmentos de roca de caja rotados dentro de las vetas, inflexiones de las estructuras, bifurcaciones, texturas de relleno de espacios, cristales de cuarzo sin signos de deformación, entre otros, no son consistentes con una mecánica compresional. Las geometrías observadas sugieren que el emplazamiento de estos depósitos habría ocurrido bajo un régimen de cizalla simple, con componente de rumbo predominante. El reemplazo de láminas de muscovita/sericita de origen retrógrado por sericita de origen hidrotermal, constituye una evidencia petrográfica importante que indica que la actividad hidrotermal se inició de manera posterior al evento de metamorfismo retrógrado M_{3b} - D_{3b} de la FCGC, estabilizado en facies de esquistos verdes, de acuerdo a lo definido por Fagiano (2007).

Sobre la base de las numerosas similitudes que existen entre los depósitos del área de estudio y los depósitos de la mina Natacha ubicados a ~2 km en dirección noroeste (Estrella, 1984), se ha definido que todos ellos pertenecen a un mismo sistema hidrotermal. Los datos obtenidos en esta primera instancia de trabajo no resultan suficientes como para establecer relaciones cronológicas relativas entre las mineralizaciones de Pb-Zn-Ag-Au y el BCA, cuya

intrusión ha sido tardío a post-cinemática con respecto a la actividad de la FCGC (Pinotti *et al.*, 2002 y 2006). Los metalotectos estructurales descriptos por Coniglio (2006) para las mineralizaciones sin-batolíticas del BCA no poseen similitudes con los depósitos abordados en este estudio. No obstante, no se descarta que los depósitos mesotermales representen una transición entre la metalogénesis netamente compresiva asociada con la faja de cizalla y el estilo de mineralización con fuerte componente no compresional que caracteriza a los depósitos magmático-hidrotermales del BCA. Es precisamente en este espacio temporal donde existe un vacío de información estructural y de dataciones geocronológicas directas de las menas.

CORRELACIONES REGIONALES. Los datos de campo obtenidos en el presente trabajo permiten establecer correlaciones regionales con otros depósitos de similares características en el ámbito de las Sierras Pampeanas Orientales, particularmente con las vetas mesotermales de Au y polimetálicas, muchas de ellas emplazadas en fajas de cizalla famatinianas. Pueden observarse, por ejemplo, numerosas similitudes con los depósitos que integran los distritos Candelaria (Miró, 1999) y El Guaico (Candiani y Sureda, 1999) ubicados en la Sierra Grande de Córdoba, principalmente en cuanto a las litologías hospedantes, actitud espacial de las estructuras mineralizadas, tipos de alteración hidrotermal y tenores de Au-Ag de algunas minas. Sin embargo, desde el punto de vista mineralógico, las vetas del distrito El Guaico presentan un contenido polimetálico significativamente mayor que los depósitos descriptos en este trabajo. Las dataciones isotópicas realizadas en muestras con alteración sericitica pertenecientes a estos distritos revelaron edades entre ~ 390 y ~ 340 Ma. (Camacho, 1997; Skirrow *et al.*, 2000), las cuales pueden correlacionarse con las obtenidas para el Batolito de Achala (Rapela *et al.*, 1998) y para el BCA (Pinotti *et al.*, 2002) de 358 ± 9 Ma. y 369 ± 9 Ma, respectivamente. Para Skirrow *et al.* (2000) no existen suficientes evidencias que permitan determinar si los fluidos hidrotermales fueron originados de las fuentes magmáticas o si estas últimas sólo actuaron de agentes térmicos que impulsaron la removilización y migración. Mutti *et al.* (2005 y 2007) postulan que la migración y canalización de los fluidos hidrotermales mineralizantes se habrían promovido debido a la perturbación térmica generada por los intrusivos y a la reactivación de estructuras famatinianas en niveles de corteza frágil-dúctil a frágil. No obstante, desde una perspectiva regional, la relación espacial y/o genética entre las vetas mineralizadas y las fajas de cizalla es aún motivo de discusión. Existen ejemplos, como en las Minas San Ignacio y Río Hondo en la Sierra Grande de Córdoba, entre otras, en que los metalotectos estructurales trascienden las zonas de deformación y se desarrollan en terrenos migmáticos (Martino *et al.*, 1997; Miró 1999).

Conclusiones

En esta contribución se ha presentado un modelo descriptivo de vetas mesotermales portadoras de Pb-Zn-Ag-Au que constituye un aporte inédito a la metalogénesis de metales base y preciosos de la Faja de Cizalla Guacha Corral en la Sierra de Comechingones. Las concentraciones de hasta 3,57 g/t de Au y 216 g/t de Ag son comparables con las encontradas en diversos distritos mineros de las Sierras Pampeanas, entre los que se destacan Candelaria y El Guaico, ubicados en la Sierra Grande de Córdoba. Si bien no se ha determinado aún la mineralogía primaria portadora de los metales preciosos, ha podido constatarse que los mayores tenores de Au y Ag se encuentran en las zonas de oxidación de los depósitos

(*gossans*), lo que evidencia la importancia de los procesos de alteración supergénica para la reconcentración, especialmente del Au, en estas zonas. La asociación sericita-hematita-cuarzo se considera diagnóstica de este evento hidrotermal mineralizante. Las relaciones de campo, las evidencias estructurales, microestructurales y los estudios petrográficos de las alteraciones hidrotermales, indican que el emplazamiento de los depósitos ocurrió de manera posterior a la última fase del evento deformacional (M_{3b} - D_{3b}) de la FCGC. Los estudios actuales y a futuro se encuentran principalmente orientados a determinar la potencialidad metalogénica de la FCGC como así también la influencia del magmatismo devónico como un posible metalotecto de las mineralizaciones. Para ello no solo se ampliarán las investigaciones sobre los depósitos del área de estudio sino que se incluirán otros depósitos emplazados en la misma faja de cizalla y próximos al BCA, por ejemplo, los que integran el distrito Piedra Blanca ubicados más al sur, de los cuales tampoco existen referencias sobre su metalogénesis.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Dra. Milka de Brodtkorb por su constante apoyo al grupo de trabajo y al Dr Roberto Miró por sus comentarios y aportes a la versión original de este manuscrito. El presente trabajo ha sido realizado a partir de dos proyectos de investigación: PICT-1477 y PIP-CONICET N° 916, financiados por la ANPCyT y el CONICET, respectivamente; y a partir del programa PPI 18/C 360 (2009-2010), financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Bibliografía

- Bierlein, F. y Crowe, D. 2000. Phanerozoic orogenic lode gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13: 103-139.
- Brown, M. y Solar, G. 1998. Granite ascent and emplacement during contractional deformation in convergent orogens. *Journal of Structural Geology*, 20: 391-419.
- Camacho, A. 1997. [Ar40/Ar39 y Rb/Sr Geochronology; final report. Geoscientific Mapping of the Sierras Pampeanas. Argentine-Australian Cooperative Project; IGRM (SEGEMAR). Inédito].
- Candiani, J.C. y Sureda, R.J. 1999. Distrito polimetálico El Guaico, Córdoba. En: Zappettini, E.O. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires, *Anales* 35: 661-670.
- Coniglio, J. 2006. [Evolución petrológica y metalogénica del Batolito Cerro Áspero en relación con el ciclo geoquímico endógeno del flúor, Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. 170 pp. Inédito].
- Demartis, M. 2010. [Emplazamiento y petrogénesis de las pegmatitas y granitoides asociados. Sector central de la Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. 263 pp. Inédito].
- Demartis, M., Pinotti, L.P., Coniglio, J.E., D'Eramo, F.J., Tubía, J.M., Aragón, E. y Agulleiro Insúa, L.A. 2011. Ascent and emplacement of pegmatitic melts in a major reverse shear zone (Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of Structural Geology*, 33: 1334-1346.
- Druguet, E. y Hutton, D. 1998. Syntectonic anatexis and magmatism in a mid-crustal transpressional shear zone: an example from the Hercynian rocks of the Eastern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 20: 905-916.
- Estrella, L. 1984. [Estudio geológico-minero del yacimiento Natacha, Pedanía Río de los Sauces, Departamento Calamuchita, Provincia de Córdoba. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto. 64 pp. Inédito].
- Fagiano, M., Pinotti, L.P. y Esparza, A.M. 2004. Metamorfismo, deformación y magmatismo asociados en el tramo medio de la Sierra de Comechingones, provincia de Córdoba. VII Congreso de Mineralogía y Metalogía, Río Cuarto, *Actas*: 315-320.
- Fagiano, M.R. 2007. [Geología y Petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. 380 pp. Inédito].

- Galliski, M. 1994. La Provincia Pegmatítica Pampeana I: tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49: 99-112.
- Galliski, M. 1999. Distrito pegmatítico Comechingones, Córdoba. En: Zappettini, E.O. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires, Anales 35: 361-364.
- Haeberlin, Y., Moritz, R. y Fontboté, L. 2002. Paleozoic orogenic gold deposits in the eastern Central Andes and its foreland, South America. *Ore Geology Reviews* 22: 41-59.
- Ingram, G. y Hutton, D.H. 1994. The Great Tonalite Sill: emplacement into a contractional shear zone and implications for Late Cretaceous to Early Eocene tectonics in southeastern Alaska and British Columbia. *Geological Society of America Bulletin*, 106: 715-728.
- Lapidus, A. y Fernández Lima, J. 1953. [Yacimientos de plomo, plata y zinc de las provincias de Córdoba y San Luis. Dirección Nacional de Minería, Carpeta 248, Buenos Aires. Inédito].
- Maffini, M.N. 2010. [Estudio geológico-metalogenético del campo Las Guindas y sus alrededores, Sierra de Comechingones, Córdoba. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto. 112 pp. Inédito].
- Martino, R. 2003. Las fajas de deformación dúctil de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Una reseña general. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58: 549-571.
- Martino, R., Guerreschi, A. y Sfragulla, J. 1997. Las anatexitas y las vetas auríferas de Río Hondo, extremo sudoriental del Macizo de San Carlos, Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52: 433-450.
- Miró, R.C. 1999. Los depósitos auríferos de Candelaria y San Ignacio, Córdoba. En: Zappettini, E.O. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires, Anales 35: 647-653.
- Mutti, D. y Di Marco, A. 1999. Yacimientos de Plomo-Plata de los Distritos Alta Gracia y Piedra Blanca, Córdoba. En: Zappettini, E.O. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires, Anales 35: 671-673.
- Mutti, D., Di Marco, A. y Geuna, S. 2007. Depósitos polimetálicos en el orógeno famatiniano de las Sierras Pampeanas de San Luis y Córdoba: Fluidos, fuentes y modelos de emplazamiento. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62: 44-61.
- Mutti, D., Tourn, S., Caccaglio, O., Herrmann, C., Geuna, S., Di Marco, A. y González Ciozza, S. 2005. Evolución metalogenética de las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero: Ciclos famatiniano, gondwánico y ándico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60: 467-485.
- Nesbitt, B., Murowchick, J. y Muehlenbachs, K. 1986. Dual Origin of lode-gold deposits in the Canadian Cordillera. *Geology*, 14: 506-509.
- Otamendi, J.E., Castellarini, P.A., Fagiano, M.R., Demichelis, A.H. y Tibaldi, A.M. 2004. Cambrian to Devonian Geologic Evolution of the Sierra de Comechingones, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Evidence for the Development and exhumation of Continental Crust on the Proto-Pacific Margin of Gondwana. *Gondwana Research*, 7: 1143-1155.
- Pinotti, L., Coniglio, J., Esparza, A., D'Eramo, F. y Llambías, E. 2002. Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal levels, Cerro Aspero Batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 251-256.
- Pinotti, L., Tubía, J., D'Eramo, F., Vegas, F., Sato, N., Coniglio, J. y Aranguren, A. 2006. Structural interplay between plutons during the construction of a batholith (Cerro Áspero Batholith, Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of structural Geology*, 28: 834-849.
- Rapela, C., Pankhurst, R., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C. 1998. The Pampean orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.), *The Proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society of London Special Publication 142: 181-217.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R., Stuart-Smith, P. 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: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.), *The Proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society of London Special Publication 142: 259-281.
- Skirrow, R.G., Camacho, A., Lyons, P., Pieters P.E., Sims, J.P., Stuart-Smith, P.G. y Miró, R. 2000. Metallogeny of the southern Sierras Pampeanas, Argentina: geological, ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating and stable isotope evidence for Devonian Au, Ag-Pb-Zn and W ore formation. *Ore Geology Review*, 17: 39-81.
- Zappettini, E.O., 1999. Clasificación de depósitos minerales de Argentina. En: Zappettini, E.O. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires, Anales 35: 75-103.

