

Vetas de cuarzo en el sur de Santiago del Estero

Pablo Rodrigo LEAL¹, Osvaldo CORTONA² y Facundo José PAGAN¹

¹Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,

Universidad de Buenos Aires, (Ciudad Universitaria, Pabellón II). E-mail: leal@gl.fcen.uba.ar

²PG La Toma S.A., Ruta provincial 20 km, 82,4, La Toma, San Luis. E-mail: piedrapg@cooplatoa.com.ar

RESUMEN. En este trabajo se resumen las principales características de importantes manifestaciones de cuarzo que aforan en las sierras de Ambargasta y Sumampa. Sus composiciones mineralógicas, sus texturas y sus geometrías permitieron dividirlos en dos diferentes grupos: pequeñas pegmatitas y grandes vetas hidrotermales. Las primeras estuvieron relacionadas con el emplazamiento de la roca de caja mientras que las segundas fueron controladas por lineamientos regionales que afectaron al basamento proterozoico. Las vetas hidrotermales están compuestas por cuarzo con cantidades subordinadas de ópalo, calcedonia y óxidos de hierro. La veta hidrotermal más importante, denominada Cantamampa, alcanza aproximadamente tres kilómetros de largo, ocho metros de espesor y 70 m de alto. La escasa alteración producida por los fluidos hidrotermales sugiere que sus temperaturas de precipitación debieron ser bajas. Epidoto, sericita y clorita son los únicos minerales secundarios que aparecen como alteración de la roca de caja. Los cuerpos pegmatíticos son más pequeños y si bien sus principales componentes son cuarzo y feldespatos alcalinos, también aparecen agregados de muscovita en cantidades minoritarias. La composición química del cuarzo, de la pegmatita más importante (Piedra Blanca), contiene aproximadamente un 99,9% de SiO₂. Sin embargo, en las vetas hidrotermales, donde el Si se halla parcialmente reemplazado por Al, la cantidad de SiO₂ del cuarzo decrece hasta el 93%.

Palabras claves: Cuarzo, Pegmatitas, Venas hidrotermales, Sumampa, Ambargasta.

ABSTRACT. *Quartz veins in the south of Santiago del Estero.* A study of the mineralogy, textural features and geometry of large quartz deposits, in Ambargasta and Sumampa ranges, allow us to divide them into two different groups: small pegmatites and large hydrothermal veins. The former were related to wall-rock emplacement, whereas the latter were controlled by regional lineaments that affected the Proterozoic basement. Hydrothermal veins are mainly composed of quartz with minor amount of opal, chalcedony and iron oxides. The most important hydrothermal vein, called Cantamampa, is approximately 3 km long, up to 8 m wide and 70 m high. The limited alteration produced by the hydrothermal fluids suggests that their precipitation temperatures must have been low. Only epidote, sericite and chlorite occur as wall-rock alteration. Pegmatite bodies are smaller and, although quartz and alkaline feldspars are the main components, muscovite is also present in minor amounts. Quartz from the most important pegmatite (Piedra Blanca) contains about 99.9% of SiO₂. However, in the hydrothermal veins, where Si is partially replaced by Al, the SiO₂ amount in the quartz decreases to 93%.

Key word: Quartz, pegmatite, hydrothermal veins, Sumampa, Ambargasta.

Introducción

El sector oriental de las Sierras Pampeanas se caracteriza por preservar los remanentes del arco magmático neoproterozoico que produjo la aproximación y posterior colisión del terreno de Pampia contra el protomargen occidental del Gondwana (Ramos 1995). Este evento, denominado orogenia pampeana, generó extensos intrusivos graníticos y cuerpos hipabisales que en la actualidad componen el basamento ígneo de las sierras de Sumampa, Ambargasta, Guasayan, Ramírez de Velasco y parte de la sierra Chica de Córdoba (Lucero 1979, 1969, Miró 2001) (Fig. 1).

Dada la antigüedad y la extensión del magmatismo que generó dicha orogenia aún existen numerosos interrogantes sobre el marco geológico que imperó en esta porción de las Sierras Pampeanas desde el Proterozoico superior al Paleozoico inferior. Una de las características peculiares es la ausencia de manifestaciones minerales, vinculadas con la cristalización de

intrusivos graníticos, que frecuentemente se hallan en los arcos magmáticos continentales (Eugster 1985, Sillitoe 1996).

Si bien el sector oriental de las Sierras Pampeanas fue un extenso margen continental activo durante decenas de millones de años, las manifestaciones minerales dentro del batolito granítico que formó parte del arco proterozoico son escasas. En primer lugar, una importante mineralización de manganeso se extiende sobre la sierra de Ambargasta por más de 70 km, pero su edad cretácica evidencia procesos hidrotermales desvinculados con la génesis de la roca de caja (Brodtkorb y Etcheverry 2000). Ocupando un área más restringida Miró (1985) describió una mineralización de oro diseminado que afecta a pórfiros riolíticos ordovícicos ligados a las etapas finales del ciclo pampeano. Sulfuros de cobre y molibdeno fueron también hallados sobre la sierra de Ambargasta afectando algunos términos del mismo basamento ígneo (Lira *et al.* 1995, Millone *et al.* 2000). Por último, importantes manifestaciones no metálicas de cuarzo afloran en

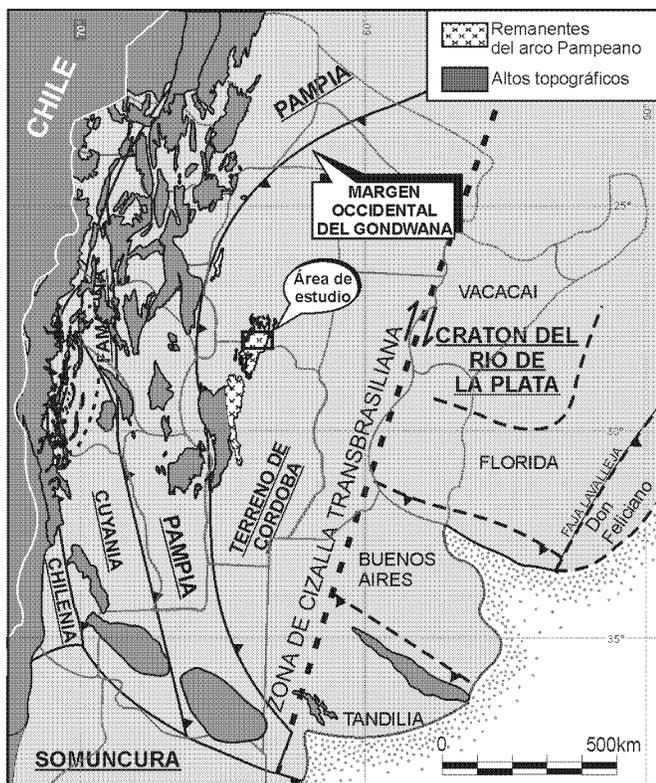


Figura 1: Ubicación del área de estudio en el marco geológico regional. Modificado de Ramos (1995).

el sur de Santiago del Estero (Menoyo y Herrmann 1988, Miró 2001).

La presencia de manifestaciones similares a esta última, de las cuales se ignoraba su existencia, inspiró al desarrollo de esta contribución. El estudio integral de todas las concentraciones de cuarzo y el análisis del marco geológico responsable de cada una permitirá conocer con mayor detalle la mineralización que alberga esta porción de las sierras Pampeanas y, al mismo tiempo, sumar fragmentos de su historia geológica.

Sobre la base de estas premisas, el objetivo del presente trabajo fue el relevamiento y la descripción de las principales manifestaciones de cuarzo que afloran en las sierras de Ambargasta y Sumampa. A continuación, se describe cada una en cuanto a su geografía, mineralogía, texturas, geometrías, actitudes, sus composiciones químicas y la alteración que provocaron en la roca de caja. Por último, y sobre la base de toda la información compilada, se resumen los distintos procesos geológicos que generaron a estos concentrados de cuarzo.

Metodología

Los mapas se realizaron a partir de la hoja geológica efectuada por Miró (2001), imágenes satelitales *Landsat* y fotos aéreas a escala 1:50.000. Las localidades estudiadas y las distintas manifestaciones fueron georeferenciadas utilizando un GPS. Para el estudio petrográfico y mineralógico se recolecta-

ron numerosos ejemplares de la roca de caja y se hizo un muestreo sistemático de cada manifestación de cuarzo. Sobre este material se desarrolló el estudio óptico a partir de cortes delgados, pulidos calcográficos y secciones bipulidas. Al mismo tiempo, se realizó un muestreo representativo de cada veta para efectuar análisis químicos orientados a determinar sus propiedades industriales. Estas muestras fueron procesadas utilizando trituradoras de mandíbulas y molinos de bolas con revestimiento y agentes de molienda de alta alúmina (para evitar la contaminación con hierro) hasta alcanzar dos granulometrías distintas. Esto es debido a que en determinados procesos industriales es imprescindible conocer el comportamiento rehológico de las suspensiones minerales. Una vez cuarteadas las muestras fueron analizadas por fluorescencia de rayos X empleando un equipo PHILIPS (modelo Venus 100) con canales fijos para sodio y magnesio y canales secuenciales para los restantes elementos.

Marco geológico

Las manifestaciones de cuarzo, estudiadas en este trabajo, se hospedan en las sierras de Sumampa y Ambargasta. Estas sierras constituyen dos cordones subparalelos de orientación meridiana que se elevan en el sur de Santiago del Estero, en el extremo oriental de las Sierras Pampeanas (Fig. 1).

Minera TEA (1968) y Lucero (1969, 1979) realizaron la primera síntesis estratigráfica de la región, que fue posteriormente modificada a partir de trabajos locales que identificaron nuevas unidades y precisaron la edad de cada una (Quartino y Quartino 1996; Castellote 1982, 1985, 1989). Finalmente, Miró (2001) realizó la última revisión estratigráfica de la comarca, sobre la base de la cual se resumen las características más sobresalientes del área de estudio.

La estratigrafía comienza en el Proterozoico superior, con un basamento metamórfico y otro ígneo, dado que en esta porción de las Sierras Pampeanas se preservan casi inalterados los remanentes de la orogenia pampeana. El basamento metamórfico posee escasa extensión puesto que fue reducido a pequeños colgajos por las sucesivas intrusiones que se produjeron durante la orogenia pampeana (Fig. 2). Lucero (1979) fue el primero en dividir este basamento en dos grupos: uno de bajo grado, que se extiende preferentemente en la margen occidental de las sierras (Ambargasta), y otro de alto grado que alcanza mayor desarrollo sobre el borde oriental (Sumampa). El primero lo integran las Formaciones Simbol Huasi y La Clemira, que se componen de pizarras, filitas cuarzosas, lutitas, subgrauvacas y cornubianitas cordieríticas (Lucero 1979, Miró 2001). El segundo está formado por gneises, esquistos biotíticos, migmatitas y anfibolitas que constituyen a la Formación Pozo del Macho (Lucero 1979, Castellote 1985b, Miró 2001). Se hallan también afloramientos localizados de calizas metamórficas (Formación Jasimampa) y areniscas cuarcíticas deformadas (Formación El Escondido) descriptos por Quartino (1967), Lucero (1979), Quartino y Quartino (1996), Massabie *et al.* (1997) y Miró (2001). Edades K/Ar realizadas en distintas rocas de este basamento metamórfico varían entre 407 ± 10 y 665 ± 20 Ma (Castellote 1978, 1982, 1985 a, b), sin embargo este período no representa el

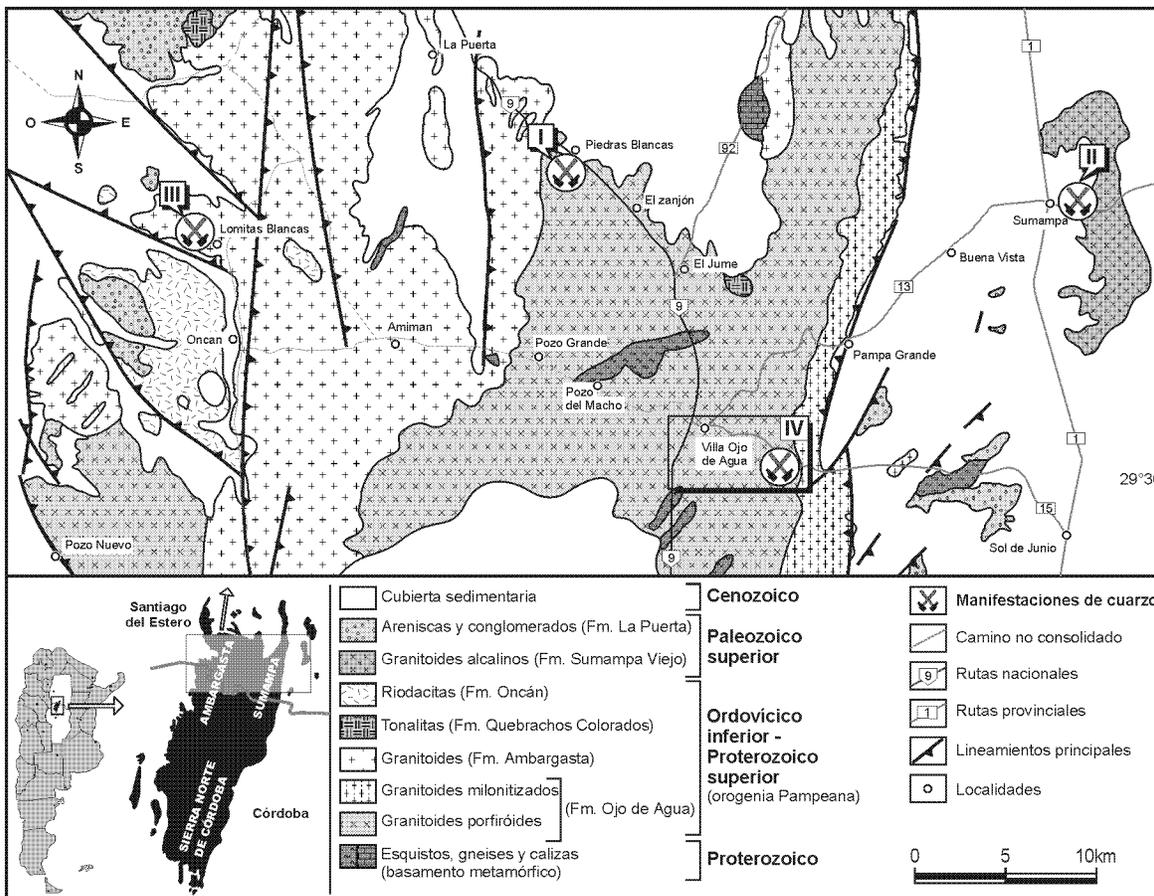


Figura 2: Geología del área de estudio modificada a partir de Miró (2001). En la figura se marcan las cuatro localidades que presentan manifestaciones importantes de cuarzo.

momento de su formación sino la edad del último evento térmico que afectó a las rocas estudiadas.

El basamento ígneo ocupa un área superior a 8.000 km² y representa el remanente del arco magmático que se produjo durante la orogenia pampeana (600-520 Ma, Ramos 1999) (Fig. 2). Ocupa más del 85% de la superficie de las sierras de Sumampa y Ambargasta extendiéndose al norte hasta la sierra de Guasayan y al sur hasta la sierra de Chica de Córdoba. Está compuesto por granitoides sintectónicos que forman un cuerpo de dimensiones batolíticas sobre el cual se hallan términos volcánicos sincollisionales y diques postcolisionales de reducida extensión.

La composición del batolito varía de granodioritas a granitos con una marcada tendencia a términos más ácidos hacia el noroeste (Bonalmi 1988). Esta característica permitió a Miró (2001) dividir a los granitoides en dos unidades: Formación Ojo de Agua compuesta por granodioritas y monzogranitos con texturas porfiríoides y foliación sinmagmática, y Formación Ambargasta integrada por granitos con intercrecimiento gráfico con numerosos filones aplíticos. La composición química de las unidades que afloran en la sierra de Ambargasta evidencian un ambiente de arco magmático continental asociado a la formación de este batolito (Bonalmi 1988, Lira *et al.* 1997, Leal 2002).

El pórfido dacítico Los Burros es un cuerpo hipabisal que

intruye al batolito en el sector medio de la sierra de Ambargasta (Lucero 1979, Miró 2001). Su relación de intrusividad con los granotoides sugiere que el arco magmático proterozoico debió estar parcialmente exhumado cuando el pórfido los intruyó; indicando el comienzo de la colisión entre el terreno de Pampia y el protomargen gondwánico (Leal *et al.* 2003). Siguen a estos un conjunto de stocks y diques subvolcánicos, conocidos como pórfiros riodacíticos de Oncán, que intruyen tanto a la Formación Los Burros como al batolito granítico (Fig. 2). Su composición química y su geometría sugieren un ambiente postcolisional relacionado al magmatismo extensional que generó el colapso del orógeno (Correa 2003). La Formación Quebrachos Colorados son cuerpos de reducidas dimensiones y composición tonalítica que intruyen al batolito granítico. Completan al basamento ígneo, granitoides alcalinos post tectónicos (Granito Sumampa Viejo y Granito Ramírez de Velasco) que se extienden en la margen este de las sierras sobre las localidades homónimas.

Numerosos trabajos han intentado determinar cuanto tiempo duró la orogenia pampeana a estas latitudes. Edades Rb/Sr y U/Pb (SHRIMP) sobre los términos subvolcánicos, del basamento ígneo, sugieren que la subducción contra el margen del Gondwana culminó entre los 512 ± 3 Ma y los 494 ± 11 Ma como consecuencia de la colisión del terreno de Pampia

(Rapela *et al.* 1991, Söllner *et al.* 2000, Leal *et al.* 2003). No obstante, la dispersión de las edades obtenidas sobre los granitoides del batolito aún no permite discernir respecto del inicio de dicha orogenia. Si bien existen edades K/Ar en distintos sectores que alcanzan los 700 ± 30 Ma (Castellote 1978) las pocas edades Rb/Sr o U/Pb obtenidas hasta el momento (514 ± 4 , 532 ± 3 , 534 ± 4 y 627 ± 27 Ma) no permiten concluir al respecto (Millone *et al.* 2003, Miró 2001, Rapela *et al.* 1998). La primera aproximación fue realizada por Llambias *et al.* (2003) quienes dataron, mediante U/Pb convencional en circones, mantos ignimbríticos asociados a las etapas iniciales del arco Proterozoico. La edad de 584 ± 22 Ma permitió a los autores confirmar que la orogenia pampeana desarrolló actividad magmática durante más de 60 Ma, desde el Neoproterozoico hasta el Cámbrico.

Areniscas y conglomerados del Paleozoico superior (Formación La Puerta) cubren al basamento en distintas localidades y en particular en el extremo norte de la sierra de Ambargasta. Se trata de sedimentos asociados a cuerpos filonianos de basaltos que Lucero (1979) correlaciona con los sedimentos de la cuenca de Paganzo (Koukharsky *et al.* 1999, 2001).

Miró (2001) fue el primero en reconocer en la zona sedimentos asociados a la extensión cretácica compuestos por brechas de talud y areniscas conglomerádicas rojas. La orogenia cretácica generó al mismo tiempo una mineralización de manganeso epitermal que se extiende por más de 70 km a lo largo de la sierra de Ambargasta (Brodtkorb y Etcheverry 2000, Correa 2003, Leal 2004).

Finalmente, cubren la secuencia areniscas, calcretes, depósitos aluviales, depósitos fluviales y evaporitas de edad terciaria.

Composición de la roca de caja y su alteración

Todas las manifestaciones de cuarzo encontradas en el área de estudio se hallan emplazadas en distintos términos graníticos del basamento ígneo: Granito Ojo de Agua, Granito Ambargasta y Granito Sumampa Viejo (Fig. 2). A continuación se resumen las características petrográficas de cada uno y se detalla la paragénesis secundaria que produjo el proceso de alteración asociado a la mineralización.

La roca de caja

Entre los distintos intrusivos que componen al basamento ígneo el Granito Ojo de Agua es el más extenso y hospeda a la mayoría de las manifestaciones de cuarzo estudiadas (Fig. 2). Miró (2001) denominó así a la porción del basamento ígneo cuya composición varía entre monzogranito y granodiorita. Cristales de microclino simplectítico rodeados de cuarzo, plagioclasa y biotitas de menor tamaño le confieren en algunas localidades una característica textura porfiroide (Miró 2001). Hacia su extremo sur, fuera del área de estudio, aparecen cristales de hornblenda, aumenta el porcentaje de plagioclasas y asoman enclaves de composición diorítica con diámetros que alcanzan los 30 cm (Lucero 1969, Castellote 1989, Lira *et al.* 1997, Leal 2002). Como minerales accesorios

primarios fueron reconocidos cristales de zircón, magnetita, turmalina y apatita (Miró 2001, Leal 2002). En su límite oriental adquiere textura milonítica que definen una franja submeridiana de más de 50 km de largo (Miró 2001) (Fig. 2). Los análisis químicos realizados sobre esta unidad indican una tendencia a términos de tipo peraluminoso y carácter sincolisional (Bonalumi 1988, Lira *et al.* 1997, Kirschbaun *et al.* 1997, Leal 2002).

Hacia el oeste, el Granito Ambargasta ocupa la porción norte de la sierra homónima (Fig. 2). Se trata de una roca rosada compuesta por cuarzo, ortosa y microclino, con notable ausencia de minerales máficos a excepción de cantidades subordinadas de biotita (Castellote 1985, 1989, Miró 2001, Correa 2003). El estudio geoquímico realizado por Correa (2003) sobre estas rocas evidencia una impronta peraluminosa, con tendencia calcoalcalina y elevado contenido de potasio. Este granito si bien hospeda al yacimiento de manganeso más importante de la Argentina (Tres Lomitas, Hierman, La Clemira, entre otros distritos) y a la mineralización de oro descrita por Miró (1985), casi no presenta manifestaciones cuarzosas a excepción de la descrita en esta contribución.

Finalmente, el Granito Sumampa Viejo es la última de las unidades que hospedan a concentraciones de cuarzo en este sector de las Sierras Pampeanas. De todas las intrusiones que componen al basamento ígneo este stock granítico es uno de los menos conocidos. Aflora al este de la sierra de Sumampa como dos pequeñas serranías que se elevan rodeadas de sedimentos terciarios (Fig. 2). Se distingue por su color salmón, su grano fino a mediano, textura seriada y se compone de cuarzo, ortosa (con microtextura gráfica), plagioclasa y escasa biotita (Miró 2001). Al igual que las otras unidades los afloramientos son discontinuos dado el espeso monte que tapiza estas sierras. Si bien aún no existen análisis químicos o dataciones isotópicas que permitan establecer el marco tectónico asociado a su intrusión, su relación estratigráfica y sus características petrográficas permiten correlacionarlo con las etapas postorogénicas del arco pampeano (Miró 2001).

La alteración

La alteración a la cual nos referiremos en este apartado está asociada exclusivamente a la formación de cuarzo cuyo origen no tiene vinculación genética con la roca de caja.

Para reconocer a los minerales secundarios que resultan del proceso hidrotermal se determinó primero el estado de alteración regional de las unidades afectadas. Si bien no existe un estudio detallado de cada sector de este basamento ígneo, y probablemente su estado de alteración no sea homogéneo a lo largo de su extensa superficie, en términos generales las rocas sólo presentan alteración parcial de sus minerales primarios. Según los estudios petrográficos realizados por Miró (2001), Correa (2003) y los actuales la alteración regional afectó principalmente a los cristales de ortosa para formar minerales de arcillas. En los términos menos diferenciados se observan también agregados de sericita, carbonatos y cantidades accesorias de epidoto alterando a los prismas de plagioclasas. En estos sectores los máficos primarios, compuestos por láminas de biotitas o prismas de hornblenda, se encuentran parcialmente alterados a prehnita, cloritas y minerales opacos.

Si bien los afloramientos de la roca de caja, en las proximidades de las manifestaciones de cuarzo, son escasos y discontinuos los contactos observados demuestran que la alteración hidrotermal no fue muy importante. En todas las manifestaciones estudiadas la alteración no se extiende más allá de tres o cuatro metros de las vetas principales o del venilleo subsidiario. En estos sectores la roca adquiere tonalidades verdosas que enmascaran su textura granosa media. El estudio petrográfico permitió determinar la presencia de pistacita, zoicita, sericita (que en algunos sectores forma verdaderas láminas de muscovita) y, en menor proporción, agregados de clorita. Esta paragénesis se halla principalmente controlada por microfracturas que deforman a los componentes primarios de la roca de caja. La escasa alteración de los feldespatos y la presencia de maclas deformadas o cristales fracturados sugieren que la deformación mecánica ponderó sobre la anomalía térmica generada (Fig. 3H). Por otro lado, cúmulos de sericita de un milímetro de diámetro y delgadas lentes de epidoto de hasta cinco centímetros de largo evidencian que, al menos parte de estos minerales, resultan de procesos de metasomatismo sobre la roca de caja.

Las manifestaciones de cuarzo: Paragénesis minerales

En la zona de estudio se reconocieron cuatro sectores con importantes manifestaciones de cuarzo, de los cuales uno en particular alcanza dimensiones significativas. La figura 2 muestra la ubicación de cada uno y la litología que oficia de roca de caja. A continuación se describen las principales características de los sectores estudiados de norte a sur.

Sector Piedras Blancas

Se trata de la única manifestación pegmatítica de dimensiones considerables que fue hallada en el área de estudio. Lucero (1969, 1979) fue el primero en estudiar las facies pegmatíticas del basamento ígneo y establecer su distribución regional. De acuerdo con sus observaciones las pegmatitas son de tipo simple y están concentradas en el borde oriental del área de estudio (sierra de Sumampa). Si bien nuestras observaciones coinciden con las realizadas décadas antes por Lucero, hemos advertido que a excepción de la pegmatita Piedra Blanca el resto de estas manifestaciones representan más bien reventones de uno o dos metros de diámetro que afloran en forma discontinua dentro del granito Ojo de Agua y se componen de cuarzo, feldespato potásico y muscovita. Dichos reventones fueron excluidos del presente trabajo cuyo objetivo se centró en el estudio de las concentraciones de cuarzo que alcanzan varias toneladas.

A 200 metros hacia el suroeste de la localidad homónima se encuentra el cuerpo Piedras Blancas con coordenada 29°22'09"/63°46'05" (Fig. 2, sector I). Se trata de una pegmatita simple con forma ovalada que se orienta en dirección nortesur. Sobresale del terreno cerca de 1,5 metros y se extiende ocupando un área de 38 m de largo por 8 m de ancho. La roca de caja es el Granito Ojo de Agua y su contacto es transicional.

El componente principal es cuarzo de color blanco a incoloro que se presenta como cristales de tamaños que varían de pocos milímetros a varios centímetros. En los bordes del cuerpo, y en cantidades subordinadas, se encuentran cristales de feldespato potásico de cuatro centímetros de largo promedio intercrecido con cristales de cuarzo de igual tamaño. Como especies accesorias (<1%), en sectores muy restringidos, se observaron diminutas láminas de moscovita y un mineral de hábito tabular de ocho milímetros de largo que se halla completamente reemplazado por óxidos de hierro. Sólo en un sector del borde se observó una segunda generación de cuarzo sobre un plano de diaclasa. Se trata de cristales de cuarzo hialino de pocos milímetros recubiertos por una delgada pátina blanca de sílice microcristalina. Un corte petrográfico permitió además observar la presencia de pequeños prismas de plagioclasa parcialmente alterados a sericita, microtexturas peritéticas en los cristales de ortosa fuertemente alterados a arcillas y minerales opacos que se disponen en agregados rellenando delgadas microfracturas o cavidades de pocos milímetros.

En función a sus dimensiones, y suponiendo que el cuerpo se extiende en profundidad al menos un tercio de su longitud (12,6 m), esta manifestación ofrece recursos interesantes de cuarzo.

Sector Sumampa Viejo

La veta de Sumampa Viejo aflora detrás del cementerio municipal de la localidad homónima con coordenadas 29°23'11"/63°25'32" (Fig. 2, sector II). Se trata de una veta de cuarzo con una corrida de 100 metros con rumbo N 50° oeste (Fig. 4). Presenta un espesor máximo de un metro, disminuyendo gradualmente hasta 20 centímetros en su extremo norte. Dado que no genera mayor contraste topográfico, más que pocos centímetros sobre la cubierta regolítica o la densa vegetación, su geometría exacta no puede precisarse sin realizar perforaciones. La veta se hospeda en el granito Sumampa Viejo con el cual desarrolla contactos netos (Fig. 4). El componente dominante es cuarzo de color blanco a incoloro que se presenta en cristales cuyos tamaños varían desde un agregado microcristalino a prismas de escasos milímetros. En algunos sectores se hallaron agregados con textura bandeada que resulta de la alternancia de bandas blancas e incoloras. En cantidades subordinadas se observaron también cavidades rellenas con prismas de pocos milímetros. En un sector muy restringido aparecen agregados de óxidos cuya forma lenticular simulan prismas milimétricos de minerales máficos.

A diferencia de la determinación macroscópica el estudio de cortes delgados evidenció una compleja secuencia de precipitación compuesta por distintas variedades de sílice. La primera generación de cuarzo, y la más abundante, está formada por cristales de cinco milímetros de diámetro con bordes intercrecidos y textura masiva. Presentan extinciones que varían de ondulosa a fragmentosa y numerosas inclusiones fluidas bifásicas acuosas. En algunos sectores esta paragénesis forma agregados de uno o dos milímetros de diámetros que resultan de la completa recristalización de cristales mayores. En los sectores donde el cuarzo posee menor granulometría se hallan cavidades rellenas por una segunda generación de síli-

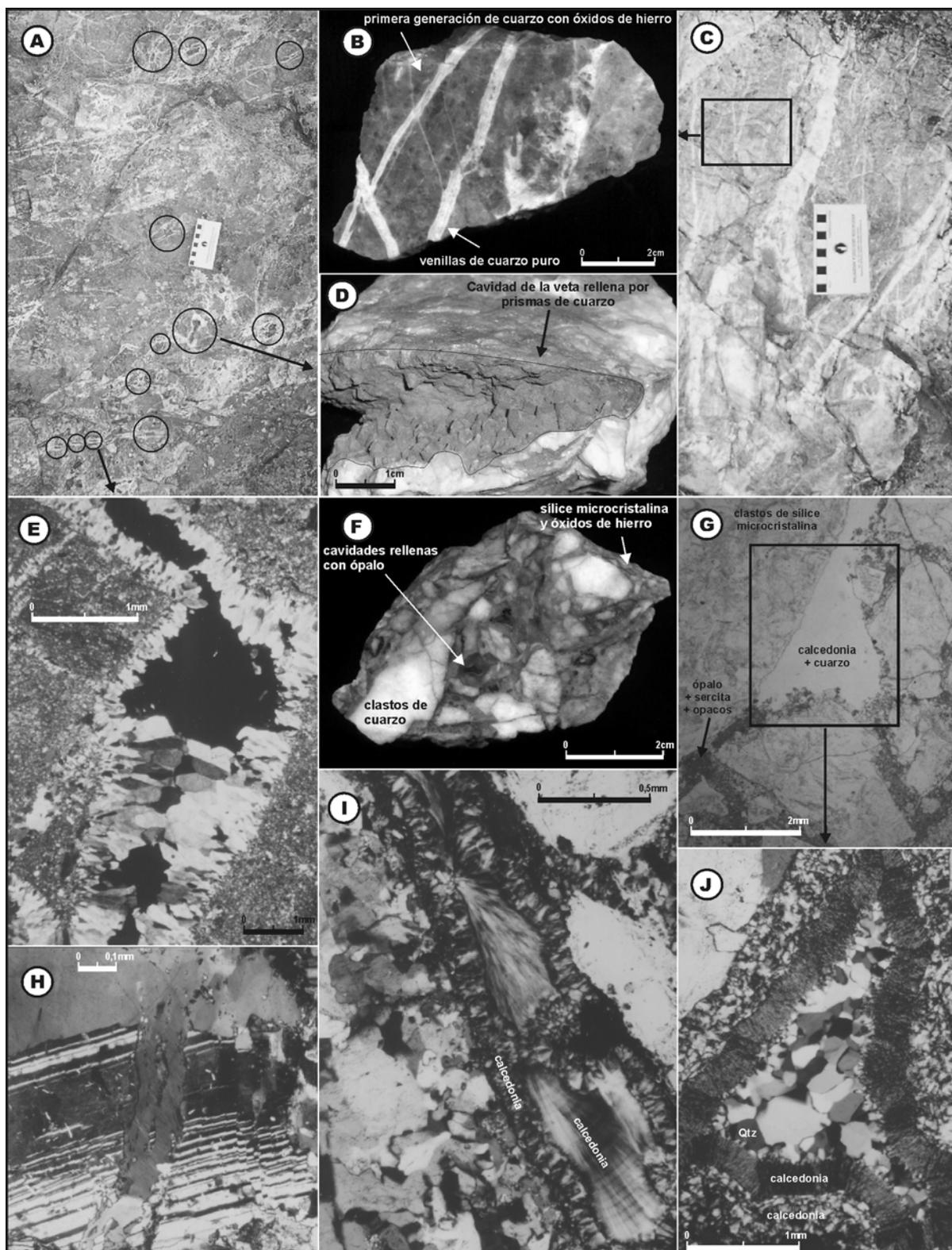


Figura 3: Fotografías de las estructuras y texturas más frecuentes que presentan las vetas de cuarzo. **A)** última mineralización de cuarzo en venillas y rellenando pequeñas cavidades; **B y C)** venillas de cuarzo atravesando a la mineralización primaria; **D)** detalle de una cavidad de cuarzo rellena por prismas de cuarzo del segundo evento; **E)** cristales de cuarzo con textura en peine; **F)** brecha de cuarzo cementada por ópalo (veta Lomitas Blancas); **G)** clastos de cuarzo primario brechados y cementados por variedades de sílice; **H)** deformación mecánica de cristales de plagioclasa de la roca de caja (extremo oriental de la veta Cantamampa); **I)** cavidad rellena por varias generaciones distintas de calcedonia y **J)** cavidad rellena por calcedonia y cuarzo como fase final.

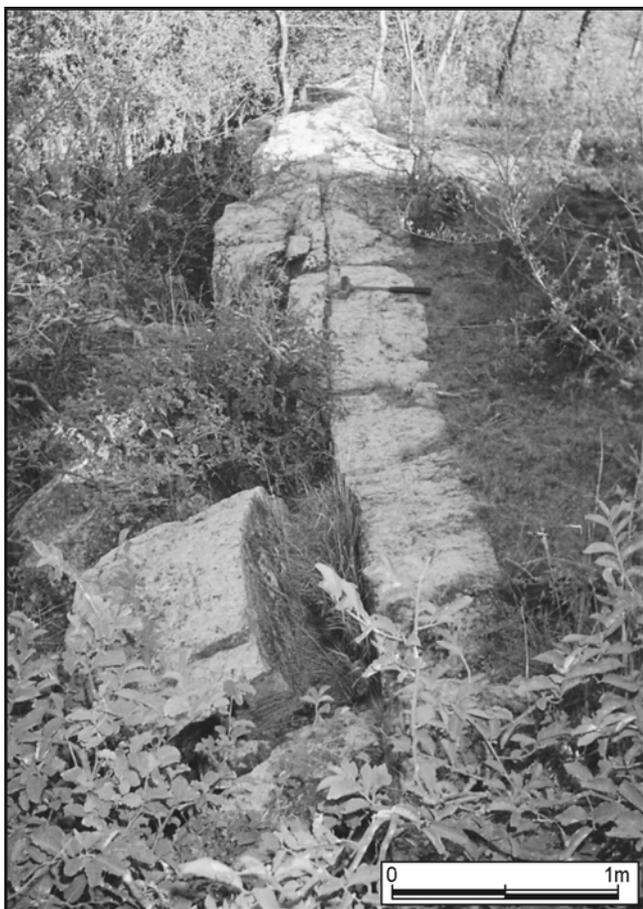


Figura 4: Vista al sur del extremo austral de la veta Sumampa Viejo donde esta alcanza su mayor desarrollo.

ce junto a agregados de sericita. Si bien esta segunda paragénesis carece de importancia, puesto que sólo representan menos del cinco por ciento del volumen de estas vetas, presenta una importante variación mineralógica. Desde la periferia al centro de dichas cavidades se reconocen minerales opacos, que tapizan las paredes, seguidos por ópalo y calcedonia definiendo texturas bandeadas. La calcedonia presenta distintas generaciones: aquellas que siguen la geometría de las bandas y resultan de la recristalización del ópalo y aquellas que precipitaron llenando las cavidades (Fig. 3I). En los espacios abiertos de mayor tamaño el ópalo y los agregados de calcedonia parecen seguidos de cuarzo que en ocasiones forman pequeñas drusas con prismas de hasta siete milímetros de largo.

Sector Lomita Blanca

Sobre la ladera oeste del cerro Bola, con coordenadas $29^{\circ}24'07''/63^{\circ}58'31''$ y cerca de la localidad homónima, se encuentran las manifestaciones de Lomita Blanca (Fig. 2, sector III). La roca de caja es el Granito Ambargasta, que si bien presenta textura granosa media en sectores próximos a la mineralización se observaron términos aplíticos. La espesa cubierta vegetal sólo permite reconocer afloramientos

saluarios que se disponen a lo largo de decenas de metros siguiendo un rumbo aproximado de norte 20° este. Los afloramientos más importantes ocupan una superficie aproximada de 8m^2 con formas lenticulares de dos metros de ancho máximo.

El componente principal es cuarzo de color blanco cuyo tamaño promedio es de pocos milímetros. La particularidad de estas manifestaciones es la presencia de planos donde el cuarzo primario se halla brechado y cementado por pátinas de sílice microcristalina de color blanco a incoloro (Fig. 3F).

El estudio microscópico de estos sectores con mayor deformación permite reconocer dos generaciones de sílice separadas por un evento de brechamiento localizado. El volumen principal se compone de un agregado de cuarzo masivo de cuatro milímetros de diámetro promedio cuya extinción pasa de fragmentosa hasta formar texturas en mortero. En algunos sectores localizados este agregado se halla brechado y cementado por una segunda generación que si bien es muy restringida presenta importantes variaciones mineralógicas. Los clastos de cuarzo del primer pulso se encuentran cementados por ópalo de color castaño que se reconoce por su relieve alto y negativo (Fig. 3G y J). En cantidades subordinadas lo acompañan agregados de sericita y pequeños minerales opacos. En las cavidades mayores se desarrolló una textura bandeada formada por ópalo translucido, seguido por calcedonia y finalmente por cuarzo (Fig. 3J).

Sector Ojo De Agua

Las dimensiones que alcanzan las vetas en este sector fue, en primera instancia, la razón por la cual se realizó este estudio. En los alrededores de la localidad Ojo de Agua se halla el sistema de vetas más importante de esta porción de las sierras Pampeanas (Fig. 2, sector IV). En este caso el Granito Ojo de Agua es la roca de caja donde la mineralización muestra contactos netos. Como muestra la figura 5 afloran en el área tres sistemas de vetas distintos que agrupamos en: veta Cantamampa, veta Ojo de Agua y veta Ojo de Agua Sur. Cada uno de estos sistemas estuvo controlado por antiguas estructuras de orientación este-oeste. No obstante, su superficie de exposición actual está limitada por estructuras submeridianales más jóvenes que seccionan a las vetas y por la cubierta vegetal que las cubren en las áreas deprimidas (Fig. 5). Por esta razón no debe desestimarse la continuidad longitudinal de las manifestaciones reconocidas hasta el momento así como tampoco la presencia de vetas menores. A continuación se describen las características particulares de cada una.

Veta Cantamampa: A 10 km al este de la ciudad de Ojo de Agua y por la ruta provincial número 15 se llega a la veta Cantamampa que aflora al sur de la localidad homónima. Su extremo oriental posee coordenadas $29^{\circ}31'60''/63^{\circ}37'47''$ y aflora con orientación NO hasta los $29^{\circ}31'05''/63^{\circ}39'51''$ (Fig. 5).

La veta tiene tres kilómetros de corrida y se encuentra segmentado por lineamientos transversales (Figs. 5y 6). Como muestra la figura 6 las dimensiones de la veta Cantamampa la convierten en el rasgo topográfico más importante de la co-

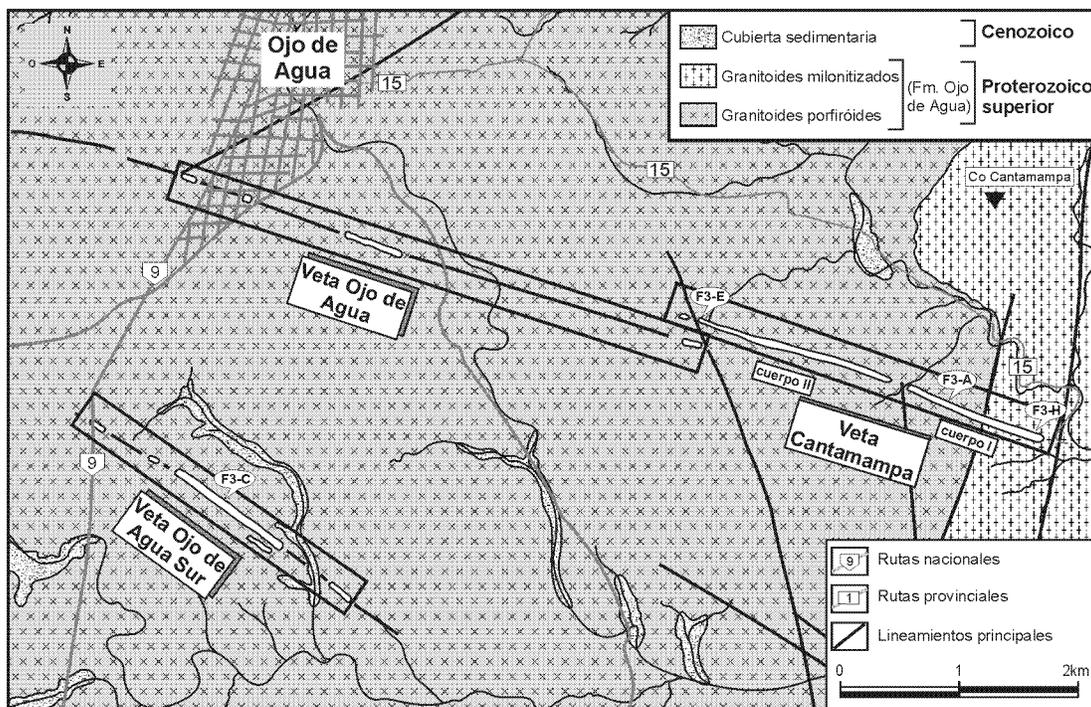


Figura 5: Esquema geológico del sector donde afloran las manifestaciones más importantes (Fig. 2, sector IV). En esta porción de la sierra de Sumampa se hallan las vetas de Cantamampa (cuerpo I y cuerpo II), la veta Ojo de Agua y Ojo de Agua Sur. El espesor de las vetas se halla exagerado para su mejor visualización. Los óvalos indican la proveniencia de alguna de las muestras de la figura 3.

marca pudiendo ser vista a kilómetros de distancia. Se trata de una veta subvertical en forma de cuña que disminuye su espesor y su altura hacia su extremo noroeste. Esta manifestación es la única que contaba con estudios previos realizados por Menoyo y Herrmann (1988) quienes llamaron cuerpo I y cuerpo II a los dos sectores de la veta que divide una de las estructuras transversales (Fig. 5). El cuerpo I (Mina Santa Ana) tiene espesores que varían entre 8 y 5 m con una extensión aproximada de dos kilómetros y una altura promedio de 50 m sobre la superficie. El cuerpo II (Mina Cantamampa), de dimensiones más reducidas, presenta espesores que varían entre 5 y 3 m con una extensión aproximada de un kilómetro y una altura cercana a los 40 metros.

Veta Ojo de Agua: Esta manifestación se extiende desde el extremo oeste del cuerpo II de la veta Cantamampa hasta cruzar la ruta nacional 9 (Fig. 5). Las coordenadas de sus extremos son: $29^{\circ}31'05''/63^{\circ}39'51''$ y $29^{\circ}30'39''/63^{\circ}42'16''$ respectivamente. Como muestra la figura 5, la veta se halla controlada por un importante lineamiento que controla una corrida de cinco kilómetros con rumbo noroeste – sudeste e inclinación subvertical. A diferencia de la veta Cantamampa esta estructura, si bien genera lomadas de hasta 20 m de alto, no forma importantes altos topográficos. Su ancho varía de 2 a 3 m y forma afloramientos discontinuos que alcanzan su mayor desarrollo cerca de la localidad homónima.

Veta Ojo de Agua Sur: A cinco kilómetros hacia el sur de la

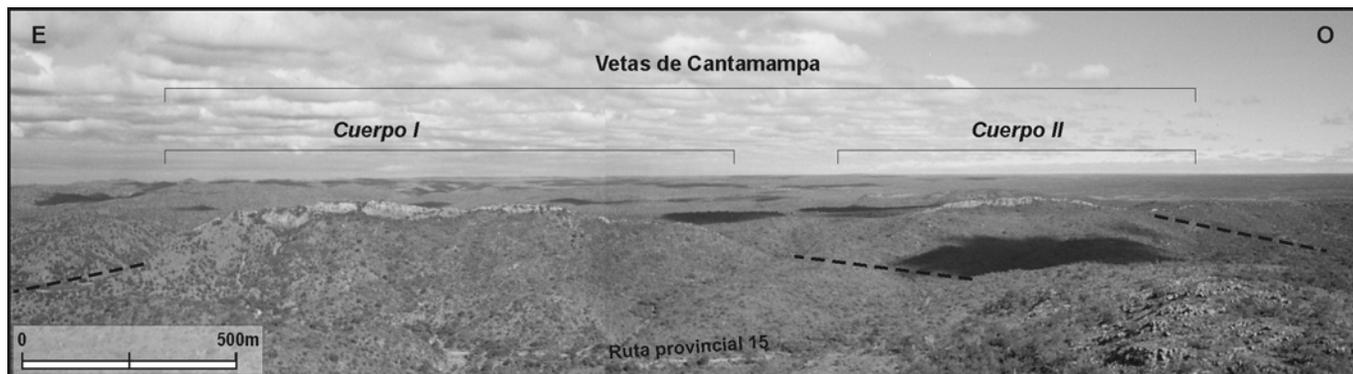


Figura 6: Vista al sur de las vetas hidrotermales de Cantamampa, tomada desde el cerro homónimo. En la fotografía se observa la expresión topográfica de los cuerpos uno y dos y las estructuras que los afectan.

ciudad de Ojo de Agua por la ruta nacional 9 se llega al cuerpo Ojo de Agua Sur (Fig. 5). Se extiende a lo largo de un kilómetro desde su extremo occidental a los 29°31'45"/63°42'36" hasta los últimos afloramientos en dirección este de coordenadas 29°32'00"/63°41'54". Al igual que el resto de las manifestaciones esta veta de cuarzo se halla en altos topográficos que en este caso sobresalen sólo escasos metros del nivel de base. Forma afloramientos discontinuos controlados por antiguas estructuras y alcanzan espesores de tres metros. Cerca del centro de esta corrida aparece una segunda veta de idénticas características pero de dimensiones menores (Fig. 5).

Los tres sistemas de vetas, presentes en este sector de Ojo de Agua, evidencian una composición mineralógica homogénea con idénticas texturas. Se componen principalmente de dos generaciones de cuarzo. La más antigua ocupa el volumen principal de la veta y está formada por agregados microcristalinos de cuarzo de color blanco que en sectores adquieren tonalidades rojizas. Una generación posterior atraviesa a la primera rellenando diaclasas o pequeñas cavidades de tres centímetros de diámetro promedio (Figs. 3A, B y C). En este caso la cantidad de mineral de segunda generación no resulta significativa con relación al volumen inicial. No obstante, está compuesta por agregados microcristalinos de cuarzo de color blanco que, en algunas cavidades, desarrollan prismas de hasta tres milímetros de largo (Fig. 3D). Como fase póstuma se observan delgadas pátinas de óxidos de hierro que tapizan las superficies de exposición de las vetas imprimiéndoles tonalidades anaranjadas.

El estudio microscópico se realizó sobre cortes delgados de la veta Cantamampa donde el cuarzo evidencia mayor deformación. En este sector la mineralización está compuesta por un agregado microcristalino de cuarzo que ocupa más del 90% del volumen de la muestra. Dicho agregado se encuentra brechado y cementado por el segundo evento. En esta última etapa las cavidades fueron rellenas por prismas de cuarzo, de escasos milímetros de largo, que crecen con texturas en peine (Fig. 3E). En cantidades accesorias se observan agregados de sericita y minerales opacos que acompañan a esta segunda generación de cuarzo.

Secuencia de precipitación

No existen evidencias directas que permitan vincular genéticamente a las vetas hidrotermales de los sectores Sumampa Viejo, Lomitas Blancas y Ojo de Agua. Por esta razón, elaborar una secuencia de precipitación integrada con los datos que actualmente se dispone del sistema resulta absurdo. La figura 7 sólo pretende esquematizar los pulsos de mineralización reconocidos hasta el momento, la secuencia de formación de cada especie mineral identificada y el porcentaje en volumen que representa cada una.

El principal componente de las vetas es un agregado de cuarzo cuyo tamaño varía de microcristalino hasta cristales de pocos milímetros. Esta variación podría responder a la deformación sobreimpuesta que provocó extinciones fragmentosas y texturas en mortero. A mayor escala los mismos esfuerzos debieron generar las diaclasas y cavidades de la veta que fueron rellenas por un segundo evento de mineralización.

Minerales	Evento I	Evento II
Cuarzo Opacos	~95%	~3%
Ópalo		~1%
Sericita		~1%
Calcedonia		~1%
Óxidos de Fe		~1%
Texturas	Cuarzo con textura masiva, extinción fragmentosa y bordes intercrecidos.	Variedades de SiO ₂ con texturas bandeadas o en peine.

Figura 7: Esquema de la secuencia de precipitación de las especies minerales que componen las vetas hidrotermales. El porcentaje dentro de cada área representa el volumen relativo aproximado de cada especie.

Cementando los clastos de cuarzo y rellenando dichas cavidades se encuentra una segunda paragénesis que carece de importancia respecto de su volumen, pero cuya mineralogía es más variada. En su mayoría está compuesta por agregados de sericita, ópalo y minerales opacos, que se disponen entre los clastos primarios de cuarzo. En cantidades subordinadas se observan agregados de calcedonia y cristales de cuarzo que rellenan las cavidades donde forman texturas bandeadas o en peine. En forma esporádica estas cavidades alcanzan tamaños de cuatro o cinco centímetros donde el cuarzo desarrolla prismas de hasta cuatro milímetros de largo.

Composición química del cuarzo y propiedades industriales

Para determinar los componentes mayoritarios de cada manifestación se realizaron análisis sobre muestras representativas de cada una. En aquellas de mayor envergadura se separaron dos fracciones granulométricas para determinar las posibles variaciones composicionales. El cuadro 1 muestra el porcentaje en peso de los componentes principales de cada manifestación.

En primer lugar, se observa que el cuerpo pegmatítico de Piedras Blancas posee la mayor pureza con un contenido promedio de SiO₂ de 99,96 % en peso. El resto de las manifestaciones presenta valores próximos al 98 % en peso, a excepción de la veta de Ojo de Agua sur que posee un contenido promedio de 93,59 % en peso. La cantidad de SiO₂ varía casi exclusivamente con el contenido de Al₂O₃ lo cual evidencia una parcial sustitución entre el Si⁴⁺ y el Al³⁺. Según Deer *et al.* (1992) el balance de cargas se alcanza a partir de la incorporación de algún elemento alcalino como el Na⁺, el Li⁺ o el K⁺. Por último, el Fe₂O₃ varía sin correlación con los otros elementos, este comportamiento sustenta las observaciones realizadas donde los óxidos son consecuencia de finas pátinas que tapizan las superficies de exposición del cuarzo.

En segundo lugar, los resultados obtenidos demuestran que la composición no varía con la granulometría pero sí con la generación analizada. Las muestras en los cuales no se separó la última generación de cuarzo muestran menor pureza (Cuadro 1).

Finalmente, cabe destacar que los resultados obtenidos sobre muestras representativas de cada manifestación son con-

Cuadro 1: Composición química del cuarzo de cada manifestación a distintas granulometrías.

Muestra	Caracter.	Granulometría	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Veta Cantamampa Cuerpo I	1°	ø >6	96,69	0,90	0,043	0,36	0,00	0,008
	generación	ø >2	98,81	0,82	0,037	0,31	0,01	0,006
	1° y 2°	ø >6	95,08	3,58	0,410	0,85	0,00	0,079
	generación	ø >2	93,94	4,36	0,463	1,12	0,03	0,088
Veta Cantamampa Cuerpo II	1°	ø >6	99,14	0,66	0,042	0,16	0,00	0,007
	generación	ø >2	98,99	0,75	0,053	0,20	0,00	0,006
	1° y 2°	ø >6	98,86	0,84	0,086	0,20	0,00	0,018
	generación	ø >2	98,85	0,84	0,083	0,20	0,00	0,016
Ojo de Agua Sur			93,59	4,74	0,728	0,79	0,02	0,139
Sumampa Viejo		ø >6	99,29	0,57	0,025	0,13	0,00	0,003
		ø >2	99,25	0,59	0,028	0,13	0,01	0,003
Lomitas Blanca		ø >6	99,56	0,35	0,033	0,07	0,00	0,001
		ø >2	99,57	0,35	0,020	0,06	0,00	0,002
Piedra Blanca			99,96	0,04	0,003	0,01	0,00	0,003

* El diámetro está expresado en milímetros y el contenido de cada óxido en porcentaje en peso.

sistentes con los valores promedio que obtuvieron Menoyo y Herrmann (1988) en su análisis de la composición de la veta Cantamampa.

De todas las manifestaciones estudiadas sólo el cuarzo de núcleo pegmatítico (sector Piedras Blancas) clasifica como "cuarzo de alta pureza", por su contenido de SiO₂ del orden de 99,95% y su bajo tenor de Fe₂O₃ (0,003 %). También llamado "cristal de cuarzo", que molido se conoce en el mercado como "cuarzo molido" o "harina de cuarzo" y se emplea en industrias con requerimiento de calidad muy estrictos, tales como cristalería, componentes ópticos, electrónica y como materia prima para la obtención de sílice fundida.

Los sectores de Sumampa Viejo, Lomita Blanca y Ojo de Agua (particularmente la veta de Cantamampa), se adaptan a las necesidades del mercado de las ferro-aleaciones: ferrosilicio, ferrosílico-manganeso y silicio metálico, puesto que requieren menor pureza (tenores de SiO₂ superiores al 98,0 %, Fe₂O₃ inferiores al 0,20 % y Al₂O₃ entre 0,15 % y 0,4 %). No obstante, pueden individualizarse áreas macizas, con menor densidad de fracturas, micro-fracturas y/o pequeñas cavidades rellenas por minerales opacos, que podrían reservarse como materias primas de mayor valor para la industria cerámica (pastas), de vidrio blanco, refractarios, cargas de pvc, polímeros, pinturas, etcétera. Estos usos demandan minerales con más del 99% de Si₂O, cantidades de Al₂O₃ inferiores al 0,2 % y tenores de 0,02 % de Fe₂O₃ como máximo.

Como rasgo destacado deben subrayarse la textura granular compacta (textura masivas o en mortero), el tamaño fino de los cristales, la recristalización y la cementación de las brechas por sílice de segunda generación que son causa principal de la particular tenacidad del mineral de las vetas, y de la dificultad para fracturarlos por compresión, trabajo de trituración y/o molienda.

Discusión

Los datos obtenidos en este trabajo permiten discernir respecto de la edad y el proceso responsable de la formación de

las distintas manifestaciones de cuarzo. En primer lugar se deben separar los sectores estudiados en dos grupos: el sector I por un lado y los sectores II, III y IV por otro. Como se describió anteriormente el sector I está formado por un cuerpo pegmatítico de contactos transicionales con la roca de caja, forma subcircular y cuya mineralogía se compone de cuarzo acompañado por cantidades subordinadas de feldespato potásico. Por el contrario, los demás sectores presentan formas vetiformes, dimensiones mayores, contactos netos con la roca de caja, procesos de alteración asociados y variedades de sílice (principalmente cuarzo) como principal producto de la mineralización.

La manifestación de Piedras Blancas (sector I) representa la fase pegmatítica más importante que se encontró en la zona y está asociada con la cristalización del basamento ígneo que la contiene. Este último, se halla representado por el Granito Ojo de Agua cuyas dataciones, según se describió, permiten asignarle una edad cámbrica. Dicha vinculación genética sugiere que el cuerpo de Piedras Blancas debió formarse durante las etapas finales de la cristalización del granito que la hospeda. Dado que sólo existen manifestaciones pegmatíticas sobre la sierra de Sumampa, mientras que los productos tardío magmáticos se encuentran en la de Ambargasta, Lucero (1979) postuló que hacia el este se encuentran expuestos sectores más profundos del arco proterozoico. Es decir que, la sierra de Ambargasta preservó las partes superiores de dicho arco, mientras que en las sierras de Sumampa estos niveles se habrían erosionado exponiendo zonas más profundas.

La geometría vetiforme, la alteración, los contactos netos con la roca de caja, la composición mineralógica, las texturas de relleno y el venilleo subsidiario del resto de las manifestaciones de cuarzo son prueba suficiente de su carácter hidrotermal. La orientación y la geometría tabular de las vetas de Sumampa Viejo (sector II), Lomitas Blancas (sector III) y Ojo de Agua (sector IV) evidencian la precipitación a partir de fluidos que circulaban a través de lineamientos regionales. Las variaciones texturales entre el primer y segundo pulso de precipitación evidencian un importante cambio de las condiciones de entorno. De acuerdo con los trabajos realizados por

Vearncombe (1993) y Dong *et al.* (1995) las texturas masivas son indicadoras de zonas profundas donde la presión de fluidos es equivalente a la presión litostática. Por el contrario, las texturas bandeadas y la presencia de cavidades abiertas sugieren un ambiente somero dominado por presiones hidrostáticas. Esta característica podría indicar un pulso de exhumación del ambiente entre el primer y segundo evento que se sustenta con la deformación sobreimpuesta a la primera generación de cuarzo. A diferencia de los términos pegmatíticos, la presencia de manifestaciones hidrotermales distribuidas en forma indistinta sobre las sierras de Ambargasta y Sumampa sugiere que el proceso mineralizador afectó al basamento ígneo después que este sufriera una importante deformación estructural. Esto implica que una vez finalizada la cristalización de los granitos estos debieron exhumarse hasta alcanzar niveles superficiales de la corteza donde su deformación frágil generó el espacio necesario para la circulación de fluidos hidrotermales. De este modo el proceso mineralizador estaría desvinculado del origen de la roca de caja y en consecuencia no tendría relación alguna con la orogenia Pampeana. Sobre la base de esta premisa Miró (2001) sugiere que el evento mineralizador podría estar asociado a las etapas póstumas del magmatismo devónico (Granito Sumampa Viejo y Granito Ramírez de Velasco). No obstante, la falta de edades radiométricas, de muestras asociadas al evento mineralizador, no permiten aún confirmar esta hipótesis.

Es importante destacar que estas vetas de cuarzo no evidencian vinculación alguna con las demás mineralizaciones conocidas en la zona de estudio. En particular si bien las manifestaciones hidrotermales de manganeso presentan características similares, como un fuerte control estructural y afloramientos a lo largo de la margen occidental de las sierras (Ambargasta), no parecen consecuencia del mismo evento mineralizador. En primer lugar, no se hallaron óxidos de manganeso en las vetas de cuarzo, ni siquiera en la veta de Lomitas Blancas que se encuentra a escasos kilómetros de uno de los yacimientos más importantes de manganeso (Hierman). Al mismo tiempo, la principal variedad de sílice en los rajos de manganeso es ópalo, cuya abundancia se incrementa hacia el norte; el cuarzo sólo se encontró en dicho extremo en cantidades accesorias (Correa 2003). En segundo lugar, si bien ambas mineralizaciones tienen un fuerte control estructural, las vetas de cuarzo encontradas hasta el momento no evidencian un patrón definido. Por el contrario, las vetas de manganeso presentan un predominio de actitudes con orientación submeridiana y se restringen sólo a la margen occidental del área de estudio (Rayces 1947, Arcidiacono 1973, Ichazo 1978, Moreno *et al.* 1998, Leal y Ramos 2002, Correa y Cábana 2002). Esta falta de asociaciones entre las vetas de manganeso y las vetas de cuarzo estudiadas en este trabajo sugieren procesos de mineralización independientes.

Conclusiones

Las observaciones, los datos y los resultados obtenidos en este trabajo permiten realizar las siguientes conclusiones:

1) En la zona de estudio se hallaron dos tipos distintos de manifestaciones de cuarzo: concentraciones pegmatíticas de

pequeñas dimensiones y vetas hidrotermales de mayor envergadura. Estas manifestaciones se concentran en cuatro sectores de los cuales el área cercana a Ojo de Agua es la más importante.

2) Las manifestaciones pegmatíticas son frecuentes en el sector oriental (sierras de Sumampa) y se vinculan genéticamente con el Granito Ojo de Agua. No así, las vetas hidrotermales que se distribuyen siguiendo estructuras regionales que constituyen su principal metalotecto. Las vetas atraviesan granitos de distintas edades evidenciando una independencia genética entre las vetas y la roca de caja.

3) Las vetas hidrotermales de cuarzo evidencian dos eventos genéticos. El primero y más importante precipitó cuarzo masivo rellenando grandes estructuras extensivas a través de las cuales circularon fluidos. Por el contrario, el segundo evento sólo rellena delgadas diaclasas o pequeñas cavidades. Durante este último precipitaron ópalo, minerales opacos, sericita, calcedonia, cuarzo y hematita que en conjunto representan menos del cinco por ciento del volumen total de las vetas.

4) Las texturas y estructuras observadas evidencian pulsos de deformación extensiva en ambas oportunidades. El primero responsable de la estructura a escala regional y el segundo encargado del brechamiento del cuarzo primario. El carácter extensional del primero se infiere por la geometría local de las vetas y venillas que se distribuyen en el basamento granítico sin aparente brechamiento de la roca de caja. Por otro lado, la deformación extensiva del segundo se evidencia por las numerosas texturas de rellenos y los espacios vacíos que aún se preservan a escala macro y microscópica.

Sin embargo la deformación extensiva asociada a la mineralización puede ser un rasgo local que resulta de zonas distensivas dentro de un marco regional compresivo o puede ser resultado directo de un período de extensión generalizada. Como la comarca sufrió numerosas y variadas orogenias desde el Proterozoico al Terciario, el marco tectónico regional sólo podrá precisarse una vez determinada la edad de esta mineralización.

5) Los productos de alteración de la roca de caja, asociados a la precipitación de cuarzo hidrotermal, se limitan a agregados de sericita, pistacita, zoisita y clorita que no se extiende más allá de pocos metros de las vetas. Su limitada extensión y las inclusiones bifásicas acuosas encontradas en los cristales de cuarzo sugieren fluidos con bajas temperaturas de precipitación.

A partir de este estudio regional, en el cual se relevaron las principales manifestaciones de cuarzo que afloran en el área de estudio y se describieron sus características mineralógicas, petrográficas y estructurales se podrán realizar estudios de mayor detalle. Análisis de inclusiones fluidas e isótopos estables en cada una de las manifestaciones descriptas permitirán determinar las condiciones de presión, temperatura, salinidad y proveniencia de los fluidos responsables de su formación. Recién entonces será factible elaborar un modelo de precipitación detallado para cada sector. Por otro lado, la realización de estudios geocronológicos ayudará a dilucidar la vinculación genética entre cada una de ellas, su asociación con los eventos magmáticos de la comarca y el marco tectónico regional responsable de esta mineralización.

Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias a PG La Toma S.A. quienes financiaron el trabajo de campo y los análisis químicos. Agradecemos especialmente a la Dra. Milka K. de Brodtkorb y al Dr. Eduardo Domínguez por la ayuda logística e intelectual prestada durante el desarrollo de este proyecto y a los árbitros del trabajo por sus valiosas correcciones.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arcidiácono, E.C., 1973. Génesis de yacimientos de óxidos de manganeso de Ojo de Agua, Santiago del Estero, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28: 165-194.
- 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. 5° Congreso Geológico Chileno, 2: 47-61.
- Brodtkorb, M.K. de y Etcheverry, R., 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., 1978. Estudio geológico del extremo norte de la Sierra de Ambargasta (provincia de Santiago del Estero). Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Tucumán (inédito), Tucumán.
- Castellote P., 1982. La Formación La Clemira y edad de su metamorfismo. *Acta Geológica Lilloana* 16(1): 71-769.
- Castellote, P., 1985a. Algunas observaciones geológicas en las sierras de Ambargasta y Sumampa (provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*, 16(2): 259-269.
- Castellote, P., 1985b. La formación "Pozo del Macho", integrante del basamento metamórfico de la sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero. *Acta Geológica Lilloana*, 16(2): 275-280.
- Castellote, P., 1989. Estudio geológico y geocronológico del basamento cristalino del sector septentrional de la sierra Norte de Córdoba. *Acta Geológica Lilloana*, 17(1): 61-66.
- Correa, M. J., 2003. La mineralización de manganeso en el distrito minero El Remanso y sus relaciones metalogénicas, Sierras Pampeanas Orientales, Santiago del Estero. Tesis doctoral de la Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 189 p.
- Correa, M.J. y Cábana, M.C., 2002. Análisis estructural de la veta La Clemira, Sierra de Ambargasta, Santiago del Estero. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia (MinMet), 111-114, Buenos Aires.
- Deer, W.A., Howie, R.A. y Zussman, J., 1992. An introduction to the rock-forming minerals. Longman Scientific & Technical 2nd Edition, 696 p.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland – classification, origin, and implication. *Economic Geology*, 90: 1841-1856.
- Eugster, H.O., 1985. Granites and hydrothermal ore deposits: a geochemical framework. *Mineralogical Magazine*, 49: 7-23.
- Ichazo, G.J., 1978. Control tectónico de la mineralización de manganeso en la sierra de Ambargasta, Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 33: 345-354.
- Kirschbaum, A.M., Perez, M.B., Baldo, E.G. y Gordillo, D., 1997. Magmatismo oriental de las sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina: Petrografía y geoquímica de los granitos de la Sierra de Macha. 8° Congreso Geológico Chileno, 2: 1319-1323.
- Koukharsky, M., Munizaga, F., Leal, P.R., Correa, M.J. y Brodtkorb, M.K. de, 1999. New K/Ar ages in the Ambargasta and Norte de Córdoba ranges, Argentina. *South American Symposium on Isotope Geology*, Actas 2: 76-77.
- Koukharsky, M., Tassinari, C., Brodtkorb, M.K. y Leal, P., 2001. Basaltos del Neopaleozoico – Triásico temprano? en las sierras Norte de Córdoba y de Ambargasta, Sierras Pampeanas Orientales: petrografía y edades K/Ar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(3): 400-403.
- Leal, P.R., 2002. Petrología de las rocas ígneas que albergan a la mineralización de manganeso del norte de la provincia de Córdoba. 15° Congreso Geológico Argentino, 2: 3-8.
- Leal, P.R. y Ramos, V.A., 2002. Marco estructural asociado a vetas de manganeso del norte de la provincia de Córdoba. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 3-9.
- 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.
- Leal, P.R., 2004. Mineralogy and Geochemistry of an Epithermal Manganese District, Sierras Pampeanas, Argentina. *International Geology Review*, 46(1): 75-90.
- Lira, R., Moreno, R.S. y Millone, H.A., 1995. Sistemas de alteración porfíricos con sulfuros de cobre y molibdeno en el basamento eopaleozoico de la sierra Norte de Córdoba, Argentina. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, 426-430, San Juan.
- Lira, R., Millone, H.A., Kirschbaum, A.M. y Moreno, R.S., 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte-Ambargasta ranges, central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(2): 157-177.
- Lucero, H.N., 1969. Descripción geológica de las hojas 16h (Pozo Grande) y 16i (Chuña Huasi), provincia de Córdoba y Santiago del Estero. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 107, 54 p.
- Lucero, H.N., 1979. Sierras Pampeanas del norte de Córdoba, sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. *Geología Regional Argentina*, 1: 293-347.
- Llambias, 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.
- Massabie A., Mutti D., Sanguinetti M., Cegarra M. y Mozetic M., 1997. Fases de deformación dúctil en formaciones eopaleozoicas de las sierras de Ambargasta, Santiago del Estero, y su significado estratigráfico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58(2): 209-218.
- Menoyo, E. y Herrmann, C.J., 1988. Yacimiento de cuarzo para ferroaleaciones al silicio. Instituto Argentino de Siderurgia. 2° Seminario de Materias primas / reducción, 1-43, Mar del Plata.
- Millone, H., Lira, R., Gomez, G. y Ripley, E., 2000. Metamorphic and magmatic fluid sources for sulfide bearing vein assemblages at Sierra Norte ranges; Sierras Pampeanas, Argentina. 31° International Geological Congress, (abstracts) Río de Janeiro.
- Minera TEA, 1968. Geología y recursos minerales de las sierras de Ambargasta y Sumampa, departamento de Ojo de Agua y Quebrachos, provincia de Santiago del Estero. Dirección Provincial de Minería (inédito) Santiago del Estero.
- Millone, H.A., Tassinari, C.C.G., Lira, R. y Poklepovic, M.F., 2003. Age and neodymium isotope geochemistry of granitoids of the Sierra Norte-Ambargasta Batholith, Central Argentina. 4° American Symposium on Isotope Geology, 617-620.
- Miró, R.C., 1985. Evaluación previa proyecto Oncán. Ficha BID. Delegación Córdoba, Secretaría de Minería de la Nación (inédito), Buenos Aires.
- Miró, R.C., 2001. Hoja Geológica Villa Ojo de Agua, Santiago del Estero y Córdoba. Dirección Nacional de Geología y Minería, SEGEMAR, mapa a escala 1:250.000.
- Moreno, R., Bonalumi, A. y Millone, H., 1988. Estudio petroestructural del distrito manganesífero de Pozo Nuevo, departamento de Sobremonte – provincia de Córdoba. 5 Reunión de Microtectónica, 51-56.
- Quartino, B.J., 1967. Contribución a la interpretación y descripción

- geológica y petrográfica del distrito Ojo de Agua (Sierras de Ambargasta y Sumampa). Dirección Provincial de Minería (inédito) Santiago del Estero.
- Quartino, B.J. y Quartino, G.P., 1996. Las sierras australes de Santiago del Estero. Caracteres diferenciales e interpretación. 13 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 563-574.
- Ramos, V.A., 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy*, 6:(32): 24-29.
- Ramos, V.A., 1999. Ciclos orogénicos y evolución tectónica. Los recursos minerales de la República Argentina. E. Zappettini (ed.) SEGEMAR, Anales 35: 29-49, Buenos Aires.
- Rapela, C.W, Pankhurst, R.J y Bonalumi, A.A., 1991. Edad y geoquímica del pórfiro granítico de Oncan, sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, 19-22.
- Rapela, C.W, Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, M., 1998. The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. In: Panlhurst R.J. and Rapela C.W. (eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publications 142: 343-367, London.
- Rayces, E.C., 1947. Los yacimientos de manganeso de Chuña Huasi. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 2: 240-256.
- Sillitoe, R.H., 1996. Granites and metal deposits. *Episodes*, 19(4): 126-133.
- Söllner, F., Leal, P.R., Miller, H. y Brodtkorb, M., 2000. Edades U/Pb en circones de la riódacita de la sierra de Ambargasta, Provincia de Córdoba. En Schalamuk I., Brodtkorb M., Etcheverry R. (eds.) *Mineralogía y Metalogénia 2000*, 6: 465-469, La Plata.
- Vearncombe, J.R., 1993. Quartz vein morphology and implications for formation depth and classification of Archaean gold-vein deposits. *Ore Geology Reviews*. 8: 407-424.

Recibido: 28/12/04

Aceptado: 30/05/05