



## LAS VETAS EPITERMALES DEL COMPLEJO MINERALIZADO CASTAÑO NUEVO, CORDILLERA FRONTAL SANJUANINA.

DELENDATTI, G. (1), GARGANTINI, H. (2) y CEBALLOS, J. P.(2).

(1)- CONICET, INGENIO, Cereseto y Meglioli -5400-Rivadavia, San Juan. [gdelendatti@ciudad.com.ar](mailto:gdelendatti@ciudad.com.ar)

(2)- Universidad Nacional de San Juan, Dpto. de Geología. [jceballos@unsj.edu.ar](mailto:jceballos@unsj.edu.ar); [hgargantini@unsj.edu.ar](mailto:hgargantini@unsj.edu.ar)

### RESUMEN

Las vetas epitermales auro-argentíferas del complejo mineralizado Castaño Nuevo se distribuyen en dos corridas principales de dirección NW y N-S, cuyo recorrido superficial se interrumpe contra un sistema freatomagmático con intensa alteración ácida, emplazado inmediatamente al sur de las mismas. El principal mineral de relleno de las vetas es el cuarzo, que exhibe texturas bandeadas coloiformes-crostitiformes, formadas por calcedonia y cuarzo “en peine” y zonado, a los que se agregan bandas con texturas de recristalización tipo microplumosa y musgosa y texturas de reemplazo de carbonatos por cuarzo, acompañado por adularia rómbica y calcita. Los sulfuros identificados son pirita, calcopirita, esfalerita, molibdenita y covelina, asociados a moderadas concentraciones de limonitas y hematita. El análisis preliminar de texturas y asociaciones minerales sugiere que estas vetas se generaron por múltiples eventos de apertura y relleno, dentro de la superzona Crostitiforme-Coloiforme (CC), estando estrechamente relacionadas con procesos de ebullición.

### INTRODUCCIÓN

El complejo mineralizado Castaño Nuevo está localizado en las estribaciones orientales de la Cordillera Frontal, 180 km al NW de la ciudad de San Juan y 8 km al N de la localidad de Villanueva, a una cota aproximada a los 1750 msnm. Sus vetas, que fueron objeto de explotación subterránea por oro y plata hasta la década del 30, constituyen un depósito epitermal de baja sulfuración ubicado en la periferia de un sistema freatomagmático con alteración ácida (Delendatti *et al*, 2002). En este trabajo se analizan las características texturales y las asociaciones mineralógicas en las vetas con el propósito de establecer su nivel de emplazamiento dentro del ambiente epitermal.

### GEOLOGÍA Y TECTÓNICA REGIONAL

Los trabajos de Rodríguez Fernández *et al* (1996), Cegarra *et al* (1998a) y Llambías (1999) describen detalladamente la estratigrafía y la evolución geotectónica de esta región. Las rocas más antiguas son los sedimentos marinos a continentales de Fm La Puerta, del Carbonífero superior - Pérmico inferior bajo. Por encima de estas y en discordancia angular aparece una potente secuencia permo-triásica de rocas volcánicas y volcanoclásticas félsicas e intermedias con intrusivos de similar composición asociados, denominada grupo Choiyoi. Rocas volcano-sedimentarias e intrusivas terciarias de composiciones variables entre félsicas, intermedias y máficas y depósitos aluviales cuaternarios completan el cuadro estratigráfico regional.

La evolución geotectónica de los Andes Centrales está relacionada con los episodios de subducción de la corteza oceánica acaecidos desde el Paleozoico superior, cuando comenzó el desmembramiento del supercontinente Gondwana, hasta el Cenozoico (Mpodozis y Ramos, 1989; Sillitoe, 1991; Martín *et al*, 1995). Debido a la subducción de la corteza del Protopacífico, un arco magmático evolucionó en el borde del Gondwana desde los 27° S hasta los 45° S (Davidson y Mpodozis, 1991) durante el Carbonífero inferior – Pérmico inferior, en coincidencia con el subciclo compresivo de la orogenia Gondwánica (Kay *et al*, 1989; Mpodozis y Kay, 1990; Rodríguez Fernández *et al*, 1996). Con posterioridad a la fase orogénica San Rafael comenzó un evento distensivo que se extendió entre el Pérmico y el Cretácico temprano (Davidson y Mpodozis, 1991; Sillitoe, 1991; Martín *et al*, 1995), durante el cual se formó el Grupo Choiyoi (Pérmico-Triásico inferior), compuesto por una asociación de rocas volcánicas y plutónicas de composiciones mesosilícicas en la sección inferior y silícicas en la superior (Llambías, 1999) originadas por un magma contaminado corticalmente (Kay, *et al*, 1989). En el Cretácico superior se pasó a un régimen predominantemente compresivo en el que se generó un segundo arco volcánico – magmático. Durante el Mioceno medio y debido a la disminución del ángulo de subducción de la placa de Nazca en el borde continental entre los 27° y 33° de latitud sur, el arco magmático migró paulatinamente hacia el E de la zona de subducción conjuntamente con el engrosamiento de la corteza, favoreciendo la formación de numerosos campos volcánicos y sistemas hidrotermales de Au-Ag +/- Cu en las provincias de Córdoba y San Luis, en el ámbito de Sierras Pampeanas (Ramos, 1995; Gemuts *et al*, 1996).

La estructuración regional se caracteriza por el dominio de las fallas inversas N-S a las que se asocian fracturas extensionales E-O y cizallas conjugadas NNW a NW y NNE a NE. Las estructuras N-S fueron los límites primitivos de las cuencas extensivas originadas durante el permo-triásico, y sufrieron una reactivación inversa debido a los diferentes pulsos compresivos que prevalecieron durante los episodios Terciarios (Cegarra *et al*, 1998b). La importancia de la interacción entre los sistemas N-S con los corredores estructurales NW y NNE en la generación de sectores distensivos que alojan sistemas mineralizados en el sector El Indio-Maricunga y su relación con otras regiones situadas al sur de estas, es enfatizada por Jones *et al* (1996).

## **GEOLOGÍA LOCAL**

El complejo está hospedado por rocas porfíricas andesíticas volcánicas y subvolcánicas. Las primeras corresponden a la Fm Vega de Los Machos, de edad Pérmico inferior determinada en base a dataciones K/Ar en plagioclasas y es considerada como parte de la sección inferior mesosilícica del grupo Choiyoi (Llambías, 1999). Se disponen en niveles de rumbo general N-S, con buzamientos de 30°- 40° al E. Las vetas de cuarzo intruyen a rocas pertenecientes a la unidad denominada **Pórfido Andesítico** por Cegarra *et al* (1998a) a la cual le asignó una edad tentativa Triásica y conforman dos sistemas principales:

- A) Sistema NW: de rumbo general N30°-40° W e inclinaciones de 55°-75° SW, con un ancho promedio de 1,3 m (máximos de 3 m), y aproximadamente 1200 m de longitud.
- B) Sistema N-S: de rumbos variables entre N5°O y N10°E e inclinaciones de 55°-75° W, con un ancho promedio de 1m (máximos de 4m) y aproximadamente 500 m. de longitud superficial (Fig. 1).

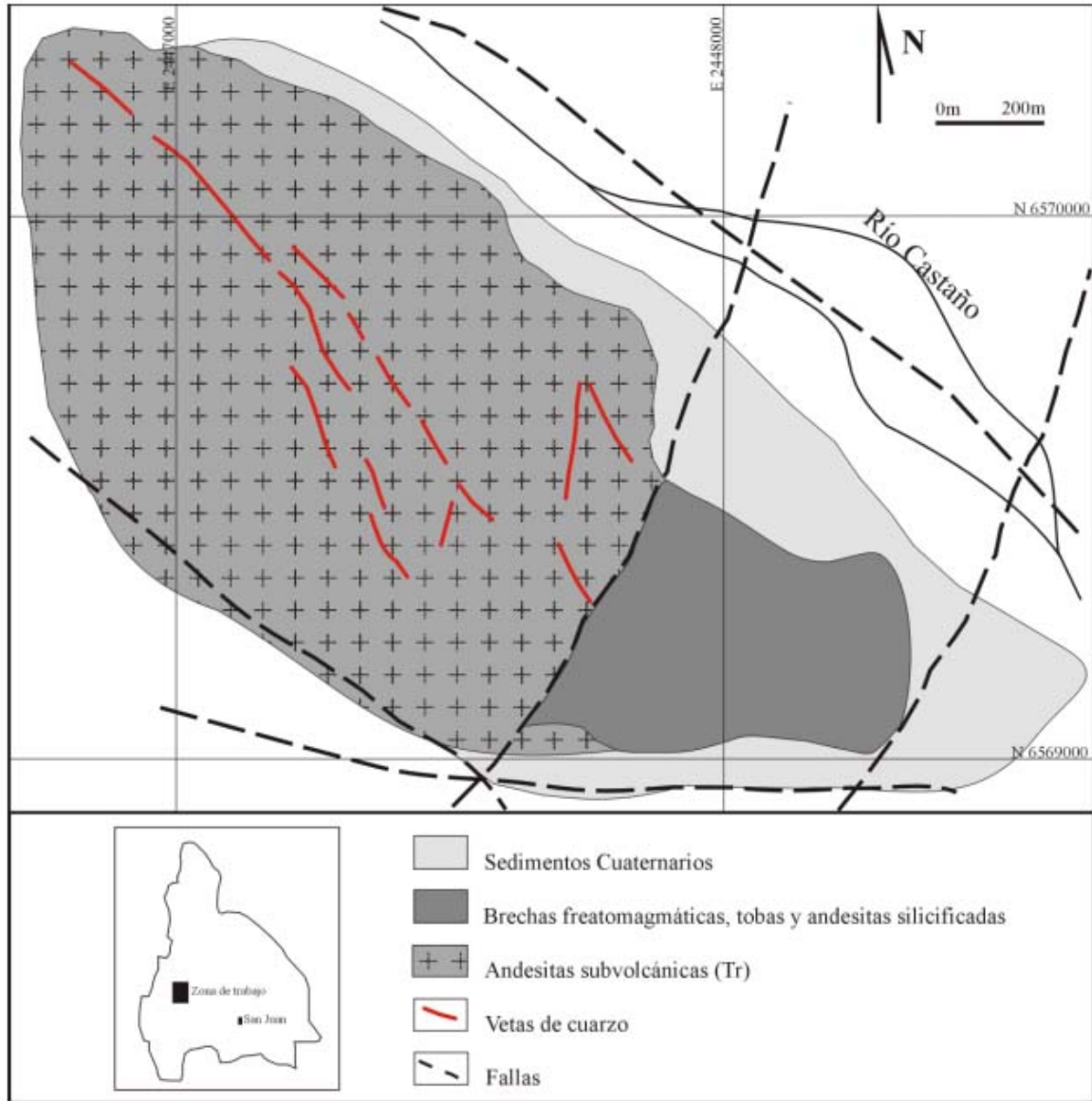


Fig. 1: Geología simplificada del sector norte del complejo mineralizado Castaño Nuevo

Ambos sistemas exhiben un diseño de vetas en stockwork en las zonas de contacto con la roca de caja y en los niveles más superficiales. Diferentes texturas de cuarzo se reconocieron macroscópica y microscópicamente en las diferentes bandas de relleno de las mismas, indicativas de múltiples eventos de apertura y sellado por el flujo hidrotermal. Dichas texturas fueron descritas según los criterios seguidos por Morrison *et al* (1989), Dong *et al* (1995) y Echavarría (1997).

#### A- TEXTURAS DE CRECIMIENTO PRIMARIO

*Sílice calcedónica bandeada*: En general tiene tonalidades grises a blanquecinas. Al microscopio se observa un mosaico microcristalino de cuarzo subhedral, con límites de grano sinuosos. Es parte integrante de los primeros pulsos de relleno en ambos sistemas de vetas ya que está en contacto con la roca de caja andesítica.

*Cuarzo en peine*: la morfología de estos cristales puede distinguirse en muestra de mano y en el microscopio. Sus ejes longitudinales son aproximadamente perpendiculares a las paredes de las vetas. Son características las bandas de amatista, observándose en algunos casos zonaciones dentro de los cristales individuales debido al contraste entre zona ricas en inclusiones sólidas respecto y zonas límpidas. Los intersticios vacíos generados por el crecimiento del cuarzo en peine han sido rellenados por cuarzo recristalizado en mosaico. (fig. 2A)

## **B- TEXTURAS DE RECRISTALIZACIÓN**

Representan la transformación de sílice amorfa en cuarzo o calcedonia.

*Textura en mosaico*: Macroscópicamente se observa como cuarzo compacto de grano muy fino. Al microscopio es un mosaico de cuarzo microcristalino, anhedral, con límites de granos sinuosos e interpenetrados.

*Textura microplumosa*: se siguió el criterio de Echavarría (1997) para designar a esta textura ya que solamente se aprecia al microscopio, bajo nicoles cruzados. Está circunscripta a los cristales de cuarzo en peine y se caracteriza por la presencia de parches con una extinción de aspecto plumoso sobre el cristal euhedral.

*Textura musgosa*: dicha textura se observa como relictos en zonas de mosaicos microcristalinos y pueden haber sido generadas por la deposición rítmica de un gel silíceo alrededor de una partícula (Dong *et al*, 1995).

## **C- TEXTURAS DE REEMPLAZO**

Son el resultado de un proceso de disolución y reemplazo casi simultáneo de calcita (u otro carbonato) precipitada en fases tempranas, por cuarzo (Morrison *et al*, 1989). Se observaron reemplazos paralelos y reemplazos fantasmas, asociados a cuarzo de grano fino. Estos últimos se caracterizan por una disposición longitudinal de las inclusiones sólidas contenidas en el cristal primario y están posiblemente relacionados a carbonatos, los cuales suelen contener este tipo de impurezas (Echavarría, 1997).

## **D- OTRAS TEXTURAS**

*Cuarzo brechoso*: generalmente ubicado en la parte central de las vetas, constituye uno de los pulsos finales en la evolución del sistema. Macroscópicamente se observa que está formado por fragmentos de amatista o cuarzo en peine, cementado por cuarzo cristalino fino, lo que indica su formación posterior respecto de estas bandas (fig. 2B). Este tipo de textura puede formarse como consecuencia de un evento de ebullición (Morrison *et al*, 1989).

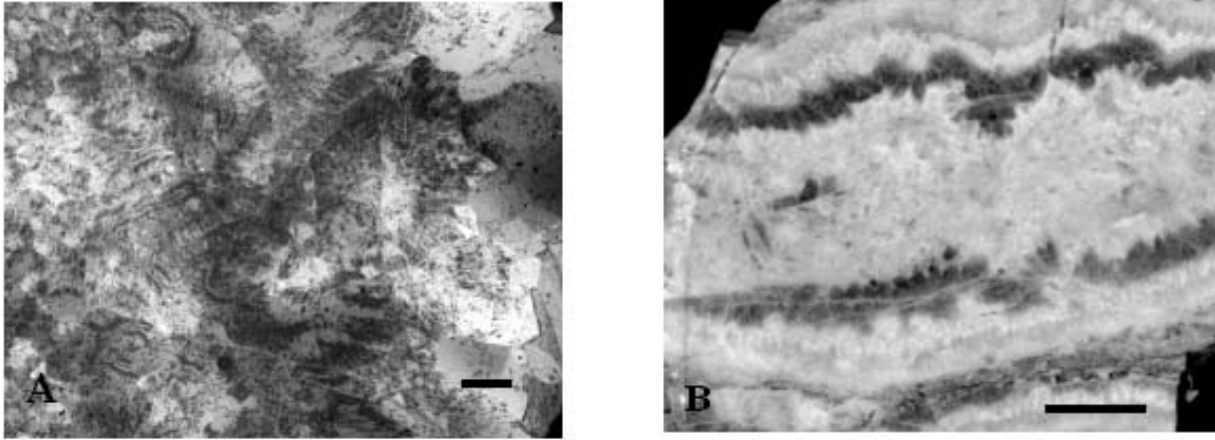


Fig. 2: A- Texturas de cuarzo: en peine, mosaico cristalino y extinción plumosa y musgosa. Barra de escala: 0,5 mm; B: Veta de cuarzo bandeado mostrando el centro la textura brechosa. Barra de escala: 20 mm.

### ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En las vetas, el cuarzo está asociado a la adularia que aparece en agregados de cristales rómbicos euhedrales junto con mosaicos cristalinos de cuarzo (fig.3). También se destaca la calcita, que rellena fisuras y otros espacios vacíos tanto en las vetas como en la roca de caja y que también aparece pseudomorfizadas por cuarzo constituyendo texturas de reemplazo paralelo.

La alteración en la roca de caja es poco penetrativa, con intensidad moderada a débil y no afecta sensiblemente a la textura original de la roca de caja; tiene un ancho promedio de 1,5 m (circunscripta a la zona de contacto con las vetas). Es de tipo sub-propilítica, caracterizada por una asociación formada por clorita (reemplazando biotita), sericita, calcita y zeolitas, acompañada por una débil silicificación. Las zeolitas son de color rojo y se presentan como vetillas, al igual que la calcita.

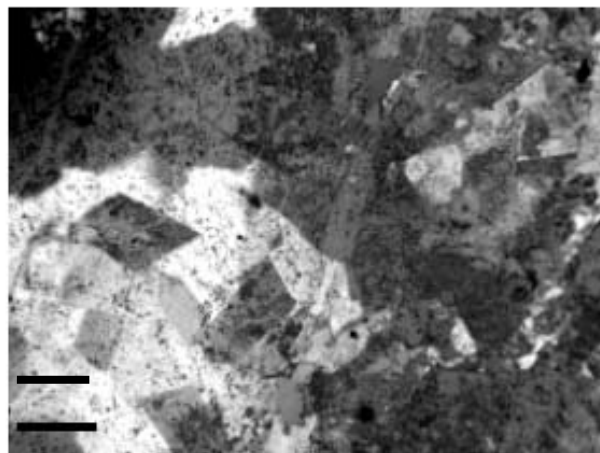


Fig. 3: Cristales de adularia rómbica, vetillas de cuarzo y opacos diseminados (pirita y limonitas). Barra de escala: 0,2 mm.

## **MINERALIZACIÓN**

Se efectuó un estudio calcográfico en ambos sistemas de vetas. Los sulfuros observados aparecen diseminados y en concentraciones inferiores al 1 % del volumen de muestra. Aparecen concentrados en los primeros pulsos de sílice calcedónica bandeada grisácea y blanquecina.

En las vetas N-S se determinó la presencia predominante de pirita acompañada por trazas de calcopirita, esfalerita y molibdenita. Los sulfuros están acompañados por una moderada concentración de limonitas y jarosita, ocasionalmente pseudomorfa después de pirita.

En las vetas NW también la pirita es mayoritaria, acompañada por trazas de calcopirita, molibdenita y covelina normal, formada a expensas de calcopirita. En estas es la oxidación es también moderada, sobre todo en la pirita la cual pasa a limonitas.

Análisis geoquímicos realizados por Serafini (1982) arrojaron valores de oro entre 1 - 3 ppm y de plata entre 10 y 20 ppm, acompañada por valores anómalos en Pb y Cu, los cuales tienden a aumentar en profundidad.

## **ESTRUCTURA**

Las vetas de Castaño Nuevo se ordenan en dos sistemas, el principal NW y otro N-S, menos extenso, limitados al E por una estructura NNE que también controla el emplazamiento de un sistema freatomagmático vecino. Mientras que las vetas NW predominan en el sector occidental, las de rumbo N-S son más abundantes en las cercanías del sector controlado por la estructura NNE, evidenciando una tendencia al paralelismo de aquellas con respecto a este rasgo estructural.

En base a las relaciones de contacto y a los indicadores cinemáticos en los planos de fallas se interpreta que, al menos localmente, el emplazamiento de las vetas del complejo Castaño Nuevo se vio facilitado por el movimiento rumbo-deslizante de estructuras dilatantes mayores, principalmente de rumbo NW, y por estructuras secundarias NNE, permitiendo la apertura y el relleno en sucesivos pulsos del sistema de vetas NW y posteriormente del N-S. La estructura limitante NNE tuvo actividad post-mineral, evidenciada por rupturas y desplazamientos de pequeñas vetas NW en el sector oriental.

## **CONSIDERACIONES GENÉTICAS Y CONCLUSIONES**

Los sistemas epitermales de baja sulfuración, también conocidos como sericita-adularia o cuarzo adularia, se forman a partir de aguas predominantemente meteóricas, con pH cercano al neutro, que circulan como flujos convectivos controlados por cuerpos intrusivos subvolcánicos, a través de estructuras extensionales (Hayba *et al.*, 1985; White y Hedenquist, 1990). El gradiente de la presión hidrostática es el principal control sobre la temperatura y presión de los fluidos hidrotermales y por lo tanto del nivel de ebullición y de la zonación de la mineralización epitermal (Corbett y Leach, 1998)

Morrison *et al* (1989) basados en el modelo de Buchanan (1981) propusieron un modelo de zonación vertical para los sistemas epitermales vetiformes de Queensland, basado en la tipología de texturas de cuarzo, la alteración y la mineralogía de mena y de ganga. Al ser el cuarzo el mineral de ganga dominante en estos depósitos y la única fase que se deposita a lo largo de toda

la vida del sistema hidrotermal (Hayba *et al*, 1985) su tipificación tiene importantes implicancias genéticas

El análisis textural y mineralógico efectuado sobre las vetas bandeadas de Castaño Nuevo sugiere que las mismas se formaron dentro de la superzona definida por Morrison *et al* (1989) como Crustiforme-Coloiforme (CC), estando asociadas con procesos sucesivos de ebullición y rápido enfriamiento de los fluidos hidrotermales. La presencia de adularia rómbica y calcita (tanto cristalina como reemplazada) ayudan en la sustentación de esta conclusión. Dong y Morrison (1995) sugieren que el cambio morfológico progresivo que experimenta la adularia desde tabular hasta rómbica y sub-rómbica es favorecido por los cambios del fluido durante la ebullición. Echavarría (1997) encontró adularia euhedral rómbica en las vetas del sector Monserrat, estrechamente relacionada con el proceso de ebullición y vinculadas con el intervalo superior de la superzona CC (con mayor cantidad de cuarzo calcedónico y musgosa respecto al cuarzo cristalino). La presencia de cuarzo, adularia y los pseudomorfos de cuarzo sobre calcita en zonas ricas en metales preciosos, son evidencias de la influencia de la ebullición como mecanismo de deposición de oro en los sistemas epitermales (Hedenquist, 1991).

El predominio de la mineralización de oro y plata, como así también la alta proporción relativa de pirita en relación a otros sulfuros, sugieren una correspondencia con la zona de metales preciosos y el traslape con la zona de metales base a mayor profundidad.

La disposición del sistema y los indicadores cinemáticos medidos, sugieren que el emplazamiento de las vetas del complejo Castaño Nuevo se vio facilitado por el movimiento rumbo-deslizante de estructuras dilatantes mayores, principalmente de rumbo NW, y por estructuras secundarias NNE.

## **AGRADECIMIENTOS**

A las Dras. Brígida Castro de Machuca, Estela Meissl y Celina Sumay, por su inestimable ayuda en la realización de los estudios petrográficos y calcográficos.

## **REFERENCIAS**

- Buchanan, L.J., 1981. Precious metal deposit associated with volcanic environments in the southwest. En: Dickinson, W. y Paine, W.D. (Eds.): Relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera. Arizona Geological Society Digest, v. 14, 237-261.
- Cegarra, M., Ragona, D., García Espina, R., González, P., Lo Forte, G. y Sato, A. M., 1998a. Estratigrafía de la región de Castaño Nuevo, Cordillera Frontal de San Juan. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso de Geología Económica, 1: 85-90, Buenos Aires.
- Cegarra, M., Ragona, D., García Espina, R., 1998b. Estructura de la Cordillera Frontal de la región de Castaño Nuevo, provincia de San Juan. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso de Geología Económica, II: 167-173, Buenos Aires.
- Corbett, G. y Leach, T., 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization. Society of Economic Geologists. Special Publication Number 6. 237 pp.
- Davidson, J. y Mpodozis, C., 1991. Regional geologic setting of epithermal gold deposits, Chile: Economic Geology, v. 86, p. 1174-1186.
- Delendatti, G.L., Zangrandi, M. y Bastías, H., 2002. Relaciones entre alteración hidrotermal y estructuras: el caso de las brechas silicificadas del distrito Castaño Nuevo, Cordillera Frontal sanjuanina. XV Congreso Geológico Argentino, 2: 445-450, El Calafate, Argentina.
- Dong, G. y Morrison, G., 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. Mineral Deposita, v.30, p. 11-19.

- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin and implication. *Economic Geology*, Vol. 90, pp. 1841-1856.
- Echavarría, L.E., 1997. Texturas de cuarzo del depósito epitermal El Dorado-Monserrat, Provincia de Santa Cruz: descripción e implicancias genéticas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (4): pp. 491-503.
- Gemuts, I., Little, M.L. y Giudicci, J., 1996. Precious and base metal deposits in Argentina: SEG Newsletter No. 25: 1-14.
- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Helad, P. y Foley, N.K., 1985. Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits, in Berger, B.R. and Bethke, P.M., ed., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Reviews in Economic Geology*, Volume 2, p. 129-162.
- Hedenquist, J.W., 1991. Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system, New Zealand. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 55, p. 2753-2765.
- Jones, J.P., Martínez, R.D. y Rossello, E., 1996. La faja volcánica del Valle del Cura (San Juan, Argentina): sus posibles continuidades y potencial para localizar World Class Deposits. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas III: 55-71.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga, P., 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the middle Proterozoic in North America ?. *Geology*, v.17, p. 324-328.
- Llambías, E., 1999. El magmatismo gondwánico durante el Paleozoico superior-Triásico. En: Caminos, R. (Ed.) *Geología Argentina. Anales* 29 (14): 349-376, Subsecretaría de Minería de la Nación. Buenos Aires.
- Martin, M.W., Clavero, J.R., Mpodozis, C.M. y Cuitiño, L.G., 1995. Estudio Geológico Regional de la Franja El Indio, Cordillera de Coquimbo, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-95-6. 300 pp.
- Morrison, G., Gouyi, D. y Jaireth, S., 1989. Textural zoning in epithermal quartz veins. Klondike Exploration Services. James Cook University, Queensland, 31 pp.
- Mpodozis, C. y Kay, S.M., 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28° - 31°S). *Revista Geológica de Chile*, 17 (2):153-180.
- Mpodozis, C. y Ramos, V., 1989. The Andes of Chile and Argentina. En: Ericksen, G.E., Cañas Pinochet, M.T. y Reinemud, J.A. (Eds.): *Geology of the Andes and its relations to Hydrocarbon and Minerals Resources*, Circumpacific Council for Energy and Minerals Resources, Earth Sciences Series II, 59-90, Houston.
- Ramos, V., 1995. Evolución tectónica del segmento de subducción horizontal de Los Andes Centrales (27°-34° S) y su control en las manifestaciones auríferas epitermales. Actas V Congreso Nacional de Geología Económica y Simposio de Metalogenia Andina de Sudamérica, I: 82-94, San Juan, República Argentina.
- Rodríguez Fernández, L., Heredia, N., Marín, G., Quesada, C., Robador, A., Ragona, D. y Cardó, R., 1996. Tectonoestratigrafía y Estructura de los Andes Argentinos entre los 30°30' y 31° 00' de latitud S. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas II: 111-124, Buenos Aires, República Argentina.
- Serafini, R., 1982. Posibilidades de los yacimientos de plata y oro del sector oeste del distrito Castaño Nuevo. Trabajo Final de Licenciatura. Universidad Nacional de San Juan. Inédito. 104 pp.
- Sillitoe, R.H., 1991. Gold metallogeny of Chile - an introduction: *Economic Geology* v. 86, p. 1187-1205.
- White, N.C. y Hedenquist, J.W. (1990). Epithermal Environments and Styles of Mineralization; Variations and their Causes and Guidelines for Exploration; in Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific; *Geology, Geochemistry, Origin and Exploration*, II; Hedenquist, J.W., White, N.C. and Siddeley, G., Editors, *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 36, pages 445-474.