

METALOGÉNESIS

Marta Franchini¹ y Ana María Casé²

1. Departamento de Geología y Petróleo, Universidad Nacional del Comahue - CONICET mfranchi@uncoma.edu.ar
2. Asentamiento Universitario Zapala, Universidad Nacional del Comahue

RESUMEN

Las manifestaciones metálicas de Neuquén están vinculadas a un estadio particular de la evolución tectónica del margen de Gondwana y de la cordillera de los Andes. En el arco magmático del Carbonífero Temprano, se formó el pórfido de Cu (Mo) más antiguo de la región. En el Jurásico Temprano y con una tectónica extensional dominante, se depositaron sedimentitas-volcanitas con hierro, manganeso y *chert* bandeados por el aporte de la actividad hidrotermal submarina en la región de retroarco. Durante el Cretácico Tardío-Paleógeno, el levantamiento de la Cordillera de los Andes, el emplazamiento de plutones epizonales en los sucesivos arcos magmáticos y la expulsión de fluidos hidrotermales, generaron pórfidos, *skarns*, brechas y vetas polimetálicas. Estos prospectos son subeconómicos dado que los plutones son pequeños y poco evolucionados. Los eventos tectónicos de contracción que producen engrosamiento cortical de 40 km, como el acaecido en la cordillera de los Andes de Neuquén, parecen menos fértiles desde el punto de vista metalogénético. No se conocen las edades de las vetas auríferas del distrito minero Andacollo, ni sus vínculos genéticos con un determinado período magmático. Por sus características estructurales se las asocia al magmatismo del Cretácico Tardío-Paleógeno. La inversión de las estructuras de la Dorsal de Huinul y el levantamiento del Dorso de los Chihuidos, produjeron las migraciones de los hidrocarburos-salmueras en la cuenca Neuquina desde el Cretácico Temprano al Mioceno, a las que se asocian las mineralizaciones de Cu, (U, V, Ag) estratiformes, las principales están alojadas en las sedimentitas del Grupo Neuquén. Un régimen de subducción más ortogonal en el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, ocasionó extensión en el retroarco, la erupción de basaltos alcalinos y mineralización de hierro.

Palabras clave: Ambiente geotectónico, procesos, magmáticos, hidrotermales, migración de salmueras e hidrocarburos

ABSTRACT

Metallogenesis.- The genesis of ore deposits around Neuquén are associated to a particular stage in the tectonic evolution of the Gondwana margin and the Andean Cordillera. The oldest porphyry Cu (Mo) in the region was formed in a Lower Carboniferous magmatic arc. In the Early Jurassic, the marine depocenters of the retroarc region accumulated sedimentary and volcanic rocks erupted in an extensional tectonic regime. These rocks host exhalative banded iron, manganese, and chert deposits formed by the submarine hydrothermal activity. In the Upper Cretaceous-Paleocene, the uplift of the Cordillera de los Andes, the emplacement of epizonal plutons in the successive magmatic arcs was followed by the exsolution of hydrothermal fluids, originating from porphyry Cu (Mo) systems to polymetallic skarns, breccias, and veins. These deposits are subeconomic because the plutons are relatively small and primitive in composition. Contractual events resulting in lesser amounts of crustal thickening, such as that which produced the Late Cretaceous uplift of the Andes of Neuquén, are considered metallogenetically less fertile. The ages of the quartz-pyrite-gold veins from the Andacollo district are not known, and neither is their genetic connection with a magmatic activity. Based on the structures of these veins, they have been associated with the upper Cretaceous-Paleocene magmatism. The inversion of the structures of the Dorsal de Huinul and the uplift of the Dorso de Los Chihuidos produced the migration of hydrocarbons and formation waters in the Neuquén basin since early Cretaceous to Miocene, that appear to be responsible for the formation of the sediment-hosted stratabound Cu (U, V, Ag) mineralization, the most important are hosted in sandstones of the Neuquén Group. A more orthogonal subduction regime during the upper Oligocene-early Miocene produced extension in the retroarc, the eruption of alkaline basalts and associate iron mineralization.

Key words: Geotectonic setting, magmatic, hydrothermal processes, hydrocarbons and basinal fluid migration

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene por finalidad brindar una síntesis del conocimiento alcanzado sobre la génesis de las mineralizaciones metálicas de cobre, hierro, manganeso, oro, plomo, cinc y plata de la provincia del Neuquén. El número de trabajos publicados e inéditos de índole descriptiva de estas manifestaciones reflejan los numerosos descubrimientos realizados en la provincia desde el siglo XIX. Sin embargo, los estudios científicos sobre los procesos geológicos que intervinieron en su formación y el conocimiento de sus edades son dispares y el origen de los yacimientos

más importantes actualmente en producción, como las vetas auríferas del distrito de Andacollo, aún permanece sin dilucidar.

En la elaboración de esta síntesis se han tenido en cuenta el ambiente geotectónico en el cual se formaron estas manifestaciones, sus controles litológicos y estructurales. Sus tamaños e importancia varían desde pequeños afloramientos reconocidos hasta yacimientos chicos a muy chicos que han sido históricamente explotados para obtener plomo, cobre, hierro y oro. La calidad de los datos publicados es variable y excepto en algunos casos en que los laboreos avanzaron en profundidad, la información proviene de los afloramientos.

CARBONÍFERO TEMPRANO

Yacimientos Hidrotermales

El yacimiento La Voluntad es uno de los pocos pórfidos de Cu-Mo de edad Paleozoica-Jurásica Temprana de los Andes Centrales y del Sur. Durante el Pennsylvaniano Temprano, en el proto margen pacífico de Gondwana, se emplazó un arco magmático sobre una corteza continental delgada (< 40 km) (Fig. 1a) que se extendía desde el sur de Argentina hasta el norte de Chile (Mpodozis & Kay 1992). Sus afloramientos a estas latitudes se encuentran en la Sierra de Chachil (Complejo Plutónico Chachil; Fig. 1b), en Neuquén y a lo largo de la costa chilena, 100 km al oeste de su posición original debido a la expansión de la corteza durante el Mesozoico (Parada *et al.* 2007). Otros afloramientos ígneos del arco carbonífero en el país se localizan en la Precordillera, en la Cordillera Frontal y en las Sierras Pampeanas (Llambías 1999). El pórfido de Cu-Mo La Voluntad de edad Carbonífera (313 Ma, Re-Os en molibdenita; Garrido *et al.* 2008), está genéticamente vinculado a un stock tonalítico tardío (Fig. 1b) del Complejo Plutónico Chachil. Con esta edad, es el depósito más antiguo que se ha descrito en la provincia de cobres porfíricos de América del Sur (Sillitoe & Perelló 2005). Presenta las alteraciones hidrotermales formadas a temperaturas altas y bajas que caracterizan a este tipo de yacimientos (Fig. 1b) y mineralizaciones en venillas y en *stockwork* (Fig. 1c, d) localizadas en el halo fílico pero su ley es baja ($< 0,2\%$ Cu; Garrido *et al.* 2008) y carece de enriquecimiento secundario. Las reconstrucciones paleogeográficas indican que fue emplazado a altas latitudes ($\sim 52^\circ$ S) y es probable que en aquellos tiempos haya estado cubierto con hielo polar (Garrido *et al.* 2008).

JURÁSICO TEMPRANO

Yacimientos estratoligados asociados a la actividad hidrotermal submarina

En este período, el arco magmático representado por los basaltos tholeiíticos de la Formación Nacientes del Bío Bío (De la Cruz & Suárez 1997) se formó en un régimen extensional, en una cuenca de intra-arco que abarcaba el lado argentino de los Andes. Al este del arco volcánico y en Neuquén, continuó la extensión litosférica en las cuencas de *rift* formadas durante el Triásico (Ramos & Kay 2006). La subsidencia de estas cuencas permitió el ingreso de las aguas desde el océano Pacífico, la generación de un vulcanismo bimodal de origen mixto (manto y corteza) y la deposición de las primeras unidades sedimentarias de la Cuenca Neuquina (Fig. 2a). Los afloramientos de hierro bandeado del Pliensbachiano de los valles Huaraco Norte, Colo Michicó y Butalón Norte, se depositaron en este ambiente marino (Zappettini & Dalponte 2010) (Fig. 2a). Se trata de bandas de jaspe con hematita- magnetita y *chert* (Fig. 2b) hospedadas en grauvacas, areniscas volcánicas y rocas volcánicas bimodales de la Fm. Colomichicó (Ciclo Precuyano). Según Zappettini & Dalponte (2010) son mineralizaciones de hierro bandeado tipo Algoma, modelo en el cual la actividad exhalativa-hidrotermal submarina aporta el hierro y la sílice coloidal y las actividades química y biogénica los precipitan en las rocas sedimentarias y volcánicas. Las capas lenticiformes de *chert* maganesífero y *chert* ferrífero alojadas en la Caliza Chachil que interdigita con la Fm. Sierra Chacaicó (Pliensbachiano), al nordeste del cerro La Atravesada (Leanza *et al.* 1990), son similares en origen y en edad a las manifestaciones de hierro bandeado de la región noroccidental de la cordillera del Viento.

CARBONÍFERO TEMPRANO

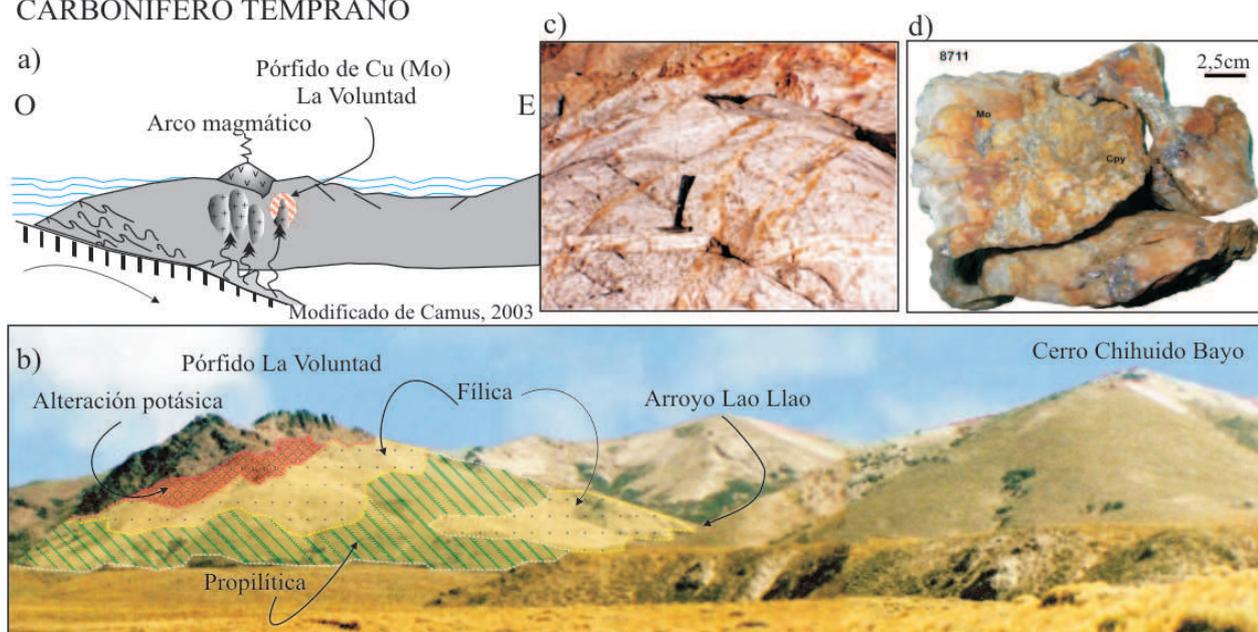


Figura 1: a) Sección esquemática que muestra el ambiente geotectónico en el cual se formó el pórfido de Cu (Mo) La Voluntad. b) Panorámica del pórfido de Cu (Mo) La Voluntad. c) Stockwork de cuarzo -sulfuros. d) Detalle de las venillas de cuarzo con calcopirita y la molibdenita datada (fotos gentileza de M. Garrido).

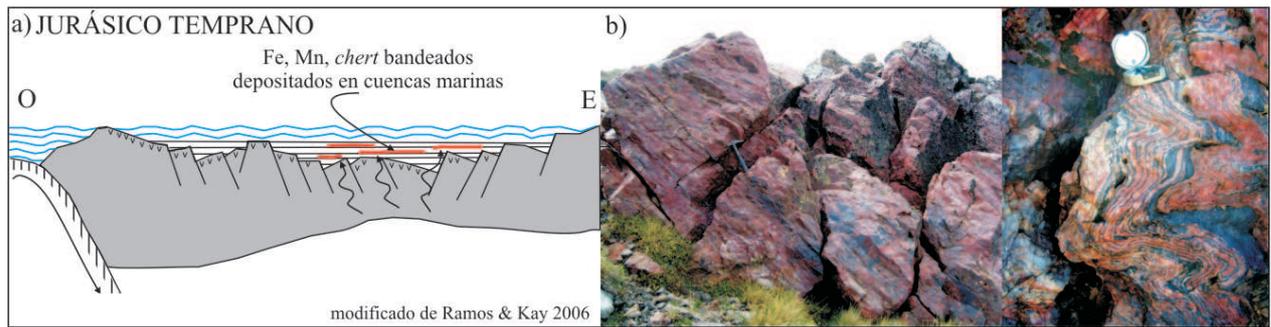


Figura 2: a) Sección esquemática que muestra el ambiente geotectónico en el cual se formaron las manifestaciones de hierro y manganeso bandeado en Neuquén. b) Bancos de jaspilita (jaspe-hematita-chert) en el NO de la cordillera del Viento (las fotos son gentileza de E. Zappettini y M. Dalponte).

CRETÁCICO TARDÍO-PALEÓGENO

Yacimientos hidrotermales

La ubicación espacial y temporal de los prospectos y yacimientos metálicos hidrotermales del Cretácico Tardío y del Paleógeno del noroeste de Neuquén, entre los 36° S y 38° 30' S, refleja la concomitancia transitoria entre los procesos tectónicos, magmáticos e hidrotermales que tuvieron lugar en la cordillera de los Andes, en el segmento actual de la Zona Volcánica Sur (SVZ) comprendida entre los 33° y 46° S (Hildreth & Moorbath 1988; Tormey *et al.* 1991; Ferguson *et al.* 1992). En la región neuquina, la sedimentación y el magmatismo mesozoicos y terciarios están superpuestos al basamento Paleozoico formado por la acreción de tres terrenos de orígenes continental y oceánico (Mosquera & Ramos 2006). El lineamiento NNO Cortaderas (36° S; Ramos & Kay 2006) separa dos regiones con diferentes geometrías de la placa subductada y comportamiento reológico de la corteza (Kay *et al.* 2006).

Durante el período principal de deformación por contracción de la Cuenca Neuquina que se inició en el Cretácico Tardío (Kozłowski *et al.* 1996; Ramos & Kay 2006), la actividad magmática periódica que acompañó la reestructuración de la cordillera de los Andes, produjo numerosos cuerpos ígneos intrusivos y volcánicos localizados en la región andina del NO de Neuquén, en una faja de rumbo submeridiano que se extiende desde los 36° S, hasta los 38°30' S. Las direcciones de convergencia entre las placas Farallón y Sudamericana fueron ortogonal en el Cretácico Tardío, oblicua durante el Paleógeno para cambiar nuevamente a ortogonal luego de la ruptura de la placa Farallón y la formación de la placa Nazca, a los 28-26 Ma (Zonenshain *et al.* 1984; 1987; Pardo-Casas & Molnar 1987; Somoza 1998). En términos generales, la distribución de las rocas ígneas señala fluctuaciones en la localización del arco magmático (Fig. 3a), coincidiendo probablemente con el cambio en la dirección de convergencia de las placas. Las razones La/Yb, La/Sm y Sm/Yb en la mayoría de las rocas paleógenas del NO de Neuquén (Franchini *et al.* 2003; Kay *et al.* 2006) indican que fueron emplazadas en una corteza continental relativamente delgada (< 40 km).

Los principales prospectos y yacimientos metálicos hidrotermales asociados a las rocas ígneas cretácicas-paleógenas varían desde vetiformes, diseminados con pórfidos de Cu (Mo), brechas y skarns mineralizados (Fig. 3a, b, c y d). Las rocas ígneas asociadas a las mineralizaciones forman varios cuerpos de tamaño pequeño intruidos como stocks, lacolitos, diques y filones capa de composi-

ción diorítica hornblendífera dominante (p. ej. Collipilli, Llambías & Rapela 1989; Cerro Caicayén, Franchini *et al.* 2000), localizados al este de los afloramientos extrusivos de basaltos olivínicos y andesitas (Rapela & Llambías 1985). La textura porfírica de la mayoría de estas rocas sugiere al menos dos etapas de enfriamiento diferentes de los magmas parentales y la transformación de las rocas de caja en *hornfels* en varios prospectos indica un contraste térmico entre los magmas y estas rocas, lo cual es típico de un ambiente frágil y de epizona. Sus edades radimétricas varían desde el Cretácico Tardío, Paleoceno, al Eoceno. El emplazamiento de las rocas ígneas pre-eocenas (Cretácico Tardío-Paleoceno Tardío) coincide con un período de deformación por contracción intenso, con 5-7 km de levantamiento en la región de la cordillera del Viento (Kozłowski *et al.* 1996; Kay *et al.* 2006 y referencias allí citadas). Los plutones intruyen los estratos mesozoicos deformados (Llambías & Malvicini, 1978; Minniti *et al.* 1986; Llambías & Rapela 1989; Franchini *et al.* 2000, Franchini *et al.* 2003) y las líneas sísmicas revelan la estrecha vinculación entre los pliegues donde los plutones se han intruido y las estructuras que afectan al basamento pre-jurásico en profundidad (p. ej. el Cerro Caicayén; Minniti *et al.* 1986). Las fracturas extensionales sincrónicas y posteriores a cada etapa de compresión (V. Ramos, comm. pers. 2010) tienen que haber generado las condiciones tectónicas favorables para el ascenso del magma. En algunos lugares hay evidencias de que las estructuras previas se reactivaron luego del emplazamiento de los intrusivos (p. ej. en Campana Mahuida; Chabert & Zanettini 1999).

Desde el punto de vista geoquímico son rocas calcoalcalinas, metaluminosas, tienen firmas geoquímicas de arco y derivan de magmas similares que se habrían originado a partir de la fusión de una fuente mantélica sin granate residual (Franchini *et al.* 2003, Kay *et al.* 2006). Los distintos trenes evolutivos que tuvieron estos magmas parecen haber provocado diferencias químicas entre las rocas ígneas. Estas diferencias surgen al comparar los intrusivos de los cerros Nevazón, Campana Mahuida y Caicayén: (1) los intrusivos del cerro Nevazón son más primitivos y cristalizaron bajo condiciones más reductoras, (2) las rocas de Campana Mahuida cristalizaron en un sistema abierto y sus magmas fueron contaminados con material cortical y/o se fraccionaron y (3) los intrusivos de Caicayén tienen composiciones intermedias entre ambos (Franchini *et al.* 2003). Estas diferencias también se manifiestan en las mineralizaciones asociadas a las rocas: (1) *skarns* con abundante pirrotina y arsenopirita similares a

los skarns de Au asociados a los plutones más primitivos del Cerro Nevazón, (2) un yacimiento de pórfido de Cu pequeño y skarns de Cu en Campana Mahuida asociados a los intrusivos más evolucionados y (3) skarns con abundante pirita y una alteración-mineralización del estilo pórfido de Cu vinculados a las rocas de composición intermedia de Caicayén. Otro dato de interés que surge de esta comparación es la diferencia en la composición química entre las rocas ígneas ubicadas al norte del lineamiento Cortaderas (Cerro Nevazón), que se asemejan más a los plutones neógenos del SO de Mendoza (Hierro Indio, Vegas Peladas) y aquéllas localizadas al sur de este lineamiento (Caicayén y Campana Mahuida) (Pons *et al.* 2010). Esto podría indicar diferencias en las regiones fuentes de los magmas o bien en los procesos tectónicos que actuaron en ambas regiones.

Los estudios de los sistemas hidrotermales en algunos prospectos con alteraciones-mineralizaciones del tipo diseminado (pórfidos de Cu-Mo) y de skarn (Domínguez *et al.* 1984; Casé & Malvicini 1999; Franchini *et al.* 1999, 2000, 2007; Casé *et al.* 2008), permiten inferir que las paragénesis minerales de temperaturas altas (320->550°C; potásica-skarns de granate-piroxeno) e intermedias a bajas (d>320°C; filica-alteración retrógrada de los skarns) que reemplazan a los intrusivos y a las rocas de caja, se formaron en una secuencia continua originada durante la interacción de los fluidos hidrotermales con las rocas. Este tren evolutivo puede ser considerado unidireccional en el sentido de Seedorff & Einaudi (2004). Las alteraciones hidrotermales en las rocas son penetrativas y muestran zonación mineralógica en sentido lateral y vertical. La mineralización está diseminada y en venillas de cuarzo.

La invariable asociación de fluidos hipersalinos con vapor de origen magmático que transportaron los metales en estos yacimientos y prospectos y su evolución general hacia temperaturas y salinidades bajas sea por enfriamiento, ebullición, reacción con las rocas de caja y/o mezcla con aguas externas, son similares a las que presentan los sistemas hidrotermales de pórfidos-skarns de Cu y otros metales. No obstante, los centros con alteración y mineralización son pequeños, sus concentraciones metálicas son bajas y no tienen varias fases intrusivas. En algunos ejemplos estudiados la precipitación de los sulfuros de Cu-Fe-Mo se produjo debido al enfriamiento de fluidos magmáticos y en un rango limitado de temperaturas (>280-400°C). A estas temperaturas, la solubilidad de los sulfuros decrece exponencialmente mientras que la del cuarzo aumenta, generando permeabilidad secundaria en las venillas de cuarzo previas (Franchini *et al.* 2007 y referencias allí citadas). Los distritos Campana Mahuida y La Primavera tienen los típicos sistemas de vetas de Pb, Ag, Zn y Au periféricas a la mineralización diseminada controlados por fallas y cizallas. Estas vetas se formaron a expensas de fluidos hidrotermales de salinidades bajas y temperaturas inferiores a los 355°C (Los Maitenes-El Salvaje; Domínguez *et al.* 1984). Esta zonación metálica no implica que los fluidos hidrotermales hayan sido exsuetos de diferentes intrusivos, dado que los metales más solubles (Zn, Pb, Ag, Au, Mn) pueden permanecer en solución mientras se forman las paragénesis de mayor temperatura (Cu-Mo-Fe) y precipitar más tarde, al cambiar las condiciones físico-químicas del sistema (Seedorff & Einaudi 2004).

El estilo estructural vetiforme es más abundante que el diseminado y las vetas polimetálicas (p. ej. cerro La Atravesada, Danieli *et al.* 1979; cerro Mayal, Franchini & Malvicini 1999; Collipilli, cerro del Diablo, Llambías & Malvicini 1978; Butalón, Varvarcó, Domínguez & Garrido 1995) también parecen haberse formado a expensas de fluidos hidrotermales de origen magmático con aporte de aguas externas en el estadio mineralizador final (152-411°C (Th) y 30-38% equiv. NaCl; 102-359°C (Th) y 23-27% equiv. NaCl; vetas del cerro Mayal: Franchini & Malvicini 1999) y con pH casi neutros (Domínguez & Garrido 1995). En este caso los mecanismos dominantes fueron de relleno de cavidades en fallas, fracturas y brechas preexistentes con reemplazos subordinados de las rocas de caja e intrusivos del Cretácico Tardío-Paleógeno a los cuales se las vincula genéticamente. En contacto con las vetas las rocas tienen alteración sericitica y/o arcillosa con silicificación y hacia los bordes alteración propilítica. La mineralogía es sencilla y las vetas por lo general preservan dos o más estadios de reapertura y relleno principales con removilizaciones de metales y alteración supergénica superpuesta. Es probable que las diferencias en cuanto al contenido metálico entre estas vetas (p. ej. Fe versus Cu) también reflejen diferencias en las composiciones químicas de los intrusivos.

Las vetas de cuazo ± pirita auríferos (galena y esfalerita) del distrito minero Andacollo (Danieli *et al.* 1999) no tienen una asociación clara con un centro ígneo y aún no han sido datadas. Las relaciones geológicas con las rocas de caja (E. Llambías, Com. Pers. 2010) indican que: 1) las vetas cortan al grupo Andacollo, del Carbonífero Superior (Llambías *et al.* 2007), 2) los domos riolíticos del Grupo Choyoi (260 Ma) que afloran en los alrededores tienen alteración hidrotermal, 3) el conglomerado de la base de la Fm. Cordillera del Viento del Triásico Tardío (Llambías *et al.* 2007) contiene numerosos rodados de chert silíceo hidrotermal junto a los de granodiorita pérmica y 3) están cubiertas por la Fm. Cayanta sin alterar, del Eoceno (Rapelá & Llambías 1985).

La caracterización estructural de estas vetas señala que son compatibles con un acortamiento general O-E (Giacosa *et al.* 2010a). Este marco tectónico contraccional podría relacionarse con la deformación involucrada en el levantamiento principal de la cordillera del Viento durante el Cretácico Tardío. La mayoría de las vetas reunidas informalmente en el grupo Sofía (Fig. 3d) adscriben a un modelo estructural de vetas de cizalla, desarrolladas bajo un régimen compresivo-transpresivo de orientación general O-E. Estas vetas son el resultado de: a) la mineralización bajo transpresión de fallas normales preexistentes y b) bajo compresión, una mineralización sincinemática con la formación de corrimientos y sistemas dúplex. Las estructuras preexistentes mineralizadas son fallas normales desarrolladas durante un régimen extensional que, en algunas vetas, puede vincularse con el volcanismo del Choyoi superior (Fm. La Premio) y quizás también con el rifting asociado al volcanismo del Ciclo Precuyano. En cuanto a las mineralizaciones en sistemas de corrimientos, son comunes en las sedimentitas estratificadas de la Fm. Huaraco del Carbonífero Tardío. Otras vetas del distrito Andacollo reunidas en el grupo Buena Vista, se encuentran emplazadas en una posición estructural más baja dentro de las piroclastitas del Carbonífero Temprano (Fm.

a) CRETÁCICO TARDÍO-PALEÓGENO

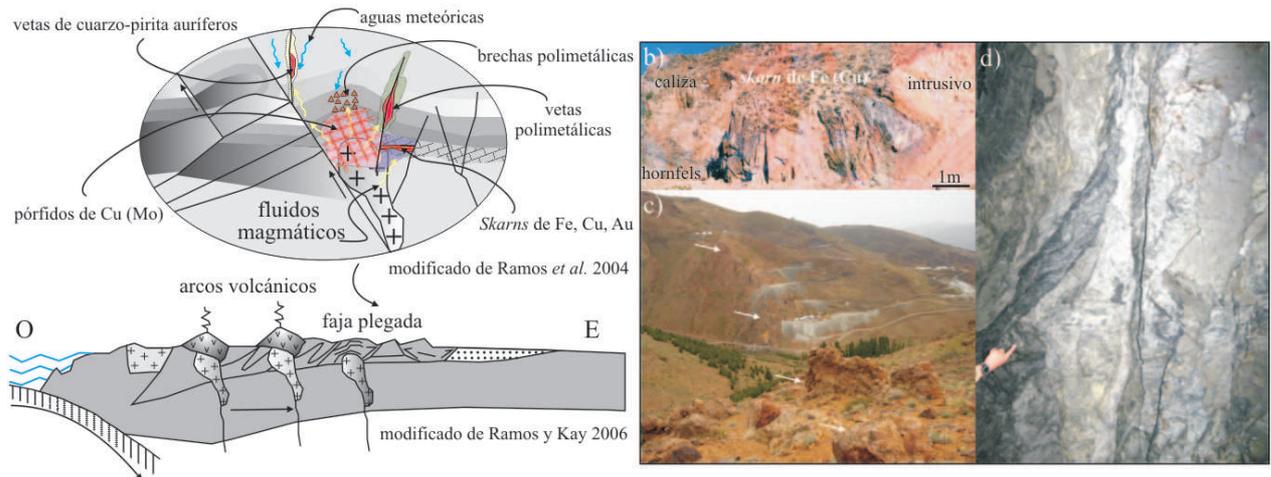


Figura 3: a) Sección esquemática que muestra el ambiente geotectónico en el cual se formaron skarns, vetas y brechas polimetálicos, pórfidos de Cu (Mo) y vetas auríferas. b) El skarn de Fe (Cu) del Cerro Caicayén. c) Afloramientos de la veta de cuarzo-pirita auríferos San Pedro. d) Detalle de la veta de cuarzo-pirita auríferos Sofia (las fotos de las vetas son gentileza de L. Maydagán y E. Bohuier).

Arroyo del Torreón). Se trata de vetas de cuarzo de mayor potencia y menor longitud que las del grupo Sofía, para las que aún no fue posible formular una caracterización estructural adecuada (Giacosa *et al.* 2010a).

Las rocas de cajas presentan alteración arcillosa y filica y en las cajas arcílicas, hay grafito en los espejos de fricción de la salbanda con alteración arcillosa. La mineralogía es sencilla, el oro está libre en el cuarzo y en la piritita tardía y la materia orgánica de las sedimentitas transformada en grafito facilitó su precipitación (Casé & Danieli, 1975). Las vetas muestran fracturamientos sucesivos, microbrechas y rellenos (clorita, sericita, calcita). Se formaron a expensas de fluidos hidrotermales magmáticos levemente ácidos en su origen y alcalinos, posiblemente de derivación meteórica, durante la mayor parte de la vida del sistema. En profundidad estas vetas suelen presentar fluidos con mayores salinidades que en superficie y contienen CO₂ (p. ej. Erika, Dominguez & Gómez 1988).

Yacimientos hospedados en rocas sedimentarias

En la zona extraandina, la inversión de las estructuras y fallas normales que controlaron la formación de los *riffts* triásicos de la Dorsal de Huincul y del Dorso de Los Chihuidos (Jurásico al Cenozoico; Vergani *et al.* 1995; Mosquera & Ramos 2006), permitieron las migraciones de hidrocarburos y las aguas de formación desde las rocas fuentes hacia los reservorios. La mayoría de los prospectos de Cu (U-V-Ag) se localiza en la Dorsal de Huincul y en el Dorso de los Chihuidos y sólo algunas manifestaciones de escasa importancia en la Faja Plegada y Corrida del Agrio. Las mineralizaciones están alojadas en sedimentitas clásticas continentales, en los estratos más permeables (areniscas y conglomerados que rellenan paleocanales fluviales) de las formaciones Tordillo, Rayoso y formaciones del Grupo Neuquén del Jurásico y del Cretácico Tardío. Estas rocas contienen material carbonoso y restos de troncos silicificados (Rojas 1999; Lyons 1999 y referencias allí citadas).

Los prospectos de Cu (U-V-Ag) más importantes de la provincia se hospedan en las rocas sedimentarias cretácicas del Grupo Neuquén, en las cercanías de yacimientos

hidrocarbúricos y las fallas y fracturas de la Dorsal de Huincul y del Dorso de Los Chihuidos han controlado su formación (Fig. 4a). La mineralización de Cu (U-V-Ag) siempre aparece asociada espacialmente a bitumen y a veces a troncos fósiles (Giusiano *et al.* 2008) (Fig. 4b, c, d). En uno de los prospectos, el bitumen analizado ha sido caracterizado como el residuo de la migración a gran escala de hidrocarburos originados en las Fms. Los Molles y Vaca Muerta (Pons *et al.* 2009). En ambas regiones, las rocas de caja cretácicas -que fueron previamente compactadas mecánicamente, cementadas y enrojecidas durante la diagénesis - están decoloradas (lavado de óxidos e hidróxidos de hierro) y alteradas (disolución del cemento carbonático, de los feldespatos y líticos volcánicos y su alteración a argilominerales) (Giusiano *et al.* 2009; Pons *et al.* 2009).

Diversos modelos han sido postulados para explicar la génesis de estas mineralizaciones. Ramos (1975) considera que el cobre, el vanadio y el uranio provenientes de la meteorización química de la roca madre, se incorporaron a la roca hospedante en un período epigenético y por la presencia de materia orgánica. Según Lyons (1999) las aguas provenientes del orógeno andino alteraron las areniscas y precipitaron el cobre ante la presencia de bitumen. Para Giusiano *et al.* (2009), Giusiano & Bouhier (2009) y Pons *et al.* (2009) las mineralizaciones cupríferas (U-V-Ag) alojadas en las areniscas del Grupo Neuquén están genéticamente asociadas a las migraciones de hidrocarburos y de fluidos acuosos a través de las estructuras de la Dorsal de Huincul y del Dorso de Los Chihuidos, desde las formaciones generadoras (Fms. Los Molles y Vaca Muerta) hasta su entrapamiento final en los estratos portadores (Veiga 2002; Maretto & Pángaro, 2005). Estas migraciones se realizaron en varias etapas desde el Cretácico Temprano al Mioceno (Legarreta *et al.* 2003). Los autores consideran que las aguas de formación ricas en cloruros que acompañaron a los hidrocarburos, pudieron haber extraído el Cu y otros metales de los estratos rojos y volcanitas alteradas y el S de las evaporitas subyacentes; el S también pudo ser transportado por los hidrocarburos. La decoloración y la alteración regional de las areniscas descriptas en super-

ficie, sugieren que grandes volúmenes de fluidos e hidrocarburos migraron desde el subsuelo y circularon a través de los estratos cretácicos más permeables y pudieron haber precipitado abundante Cu.

Los remanentes de areniscas rojas en los estratos alterados (Pons *et al.* 2009), son pruebas claras de que la mineralización de Cu se produjo luego de la diagénesis. Si estos estratos se depositaron en el período Cenomaniano-Campaniano y luego sufrieron diagénesis y enrojecimiento, la edad máxima de la mineralización de Cu debe ser unos millones de años más joven que la edad de las rocas hospedantes y coincidir con las etapas de migración de hidrocarburos (Cretácico Temprano al Mioceno; Legarreta *et al.* 2003). Por lo tanto, las mineralizaciones de Cu alojadas en el Grupo Neuquén podrían haberse formado durante el período que abarca desde el Paleoceno al Mioceno.

Estos prospectos de la cuenca neuquina tienen características similares a todos los modelos arquitectónicos de cuencas sedimentarias que hospedan los depósitos de Cu (Hitzman *et al.* 2005), ellas son: 1) la presencia de rocas oxidadas que contienen óxidos e hidróxidos de Fe capaces de adsorber Cu (estratos rojos) en el subsuelo, 2) fuentes de sales y de sulfatos (evaporitas o salmueras basinales) y 3) materia reductora (móvil en este caso) que pudo haber contenido S como sulfuro hidrogenado. Según la arquitectura de la cuenca (Kupferschiefer o estratos rojos; Hitzman *et al.* 2005), los prospectos neuquinos son del tipo estratos rojos que sobreyacen secuencias marinas con evaporitas y rocas ricas en materia orgánica (que generaron hidrocarburos). Dentro de los ejemplos del tipo estratos rojos, son similares a los de la cuenca Paradox de los estados de Utah y Colorado, en los Estados Unidos de Norteamérica, que hospeda numerosos depósitos de Cu de tamaño mediano (Hahn & Thorson 2005). El modelo genético propuesto por Hahn & Thorson (2005) para estos depósitos de la cuenca Paradox, involucra dos estadios: 1) la decoloración de los estratos rojos y la formación de pirita por la reducción de hematina durante la circulación de hidrocarburos con fluidos reductores, y 2) la precipitación de los sulfuros de Cu en las areniscas decoloradas con pirita durante la circulación posterior de fluidos oxidantes con Cu.

OLIGOCENO TARDÍO-MIOCENO

Magmáticos-hidrotermales

En el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, al romperse la placa Farallones, se inició el régimen de subducción ortogonal entre las placas Sudamericana y Nazca (Pardo Casas & Molnar 1987; Somoza 1998). En este período se instaló un arco magmático activo al oeste de la provincia y en la zona de retro arco extra andina, aproximadamente 550 km al este de la trinchera actual, un régimen extensional sobre una corteza atenuada dio lugar a la erupción de basaltos olivínicos alcalinos con edades comprendidas entre los 24 y 20 Ma (Kay & Copeland 2006). Sus características químicas corresponden a basaltos de intraplaca originados por la fusión parcial de un manto enriquecido isotópicamente y portador de granate, sin componentes de arco (Kay *et al.* 2006). Las manifestaciones de hierro de Huantraico (magnetita en ganga de apatito y calcita) constituyen diques y venillas alojados en las fracturas tensionales de estos basaltos y tobas intercaladas, mantos concordantes con las rocas de caja y relleno de cavidades drusiformes. Las rocas de caja están silicificadas (tobas) y cloritizadas (basaltos). Su génesis ha sido atribuida al producto de la diferenciación magmática con la posibilidad de un transporte parcial hidrotermal (Zappettini 1999 y referencias allí citadas). Se lo considera similar a los yacimientos de magnetita-apatito chilenos para los que existe una controversia clásica y no concluyente respecto al origen magmático (Nyström & Henríquez 1994), metasomáticos (Bookstrom 1995) o fluidos no magmáticos (Rhodes & Oreskes 1999).

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo con los datos publicados en la literatura geológica y resumidos en este capítulo, las manifestaciones metálicas de la provincia están estrechamente vinculadas a un estadio particular de la evolución tectónica del proto margen pacífico de Gondwana y de la cordillera de los Andes. Durante el Carbonífero, el desarrollo del arco magmático dio lugar a la formación del pórfido de Cu (Mo) más antiguo de la región. En el Jurásico Temprano, en las cuencas de *rift* triásicas de la región de retroarco, se formaron las mineralizaciones de hierro y los niveles de

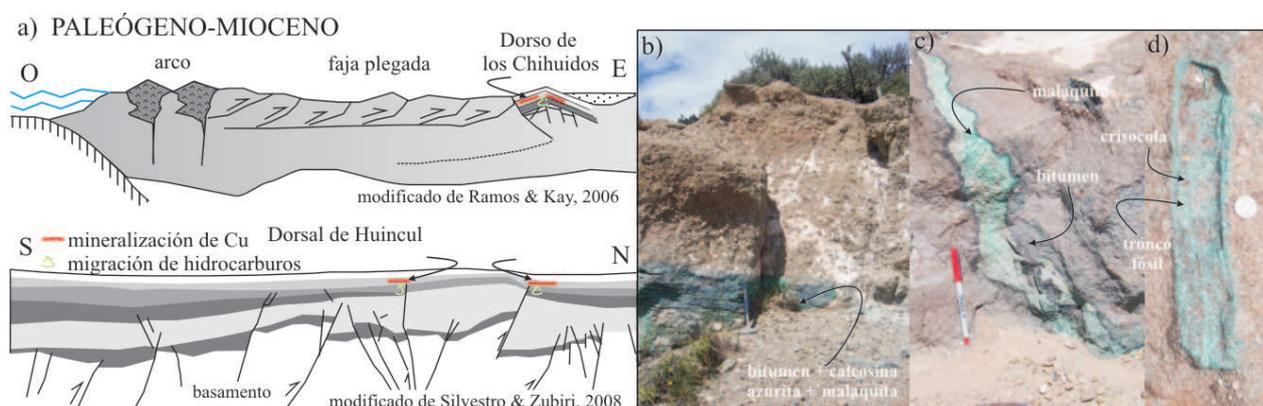


Figura 4: a) Secciones esquemáticas que muestran el ambiente geotectónico en el cual se formaron las manifestaciones de Cu (U-V-Ag) alojadas en las rocas sedimentarias del Grupo Neuquén. Mineralización de Cu asociada a bitumen y a troncos fósiles en el: b) Prospecto El Porvenir, c) Prospecto Barda González y d) Prospecto Sapo Sur.



manganeso por la actividad exhalativa-hidrotermal submarina, en un marco estructural extensional.

A partir del Cretácico Tardío en adelante, la restructuración y el levantamiento de la cordillera de los Andes y la migración hacia el este de los sucesivos arcos magmáticos dieron lugar al emplazamiento de plutones epizonales y a la expulsión de fluidos hidrotermales que generaron pórfidos, *skarns*, brechas y vetas polimetálicas. Los yacimientos y prospectos hidrotermales de los arcos magmáticos son subeconómicos debido a que los plutones son pequeños y por lo general poco evolucionados. El pórfido de Cu-Mo Campana Mahuida -el más importante prospecto de Cu de la provincia al presente- está vinculado a rocas ígneas cuyos magmas experimentaron contaminación cortical y/o fraccionamiento. El emplazamiento de las cámaras magmáticas lejos de la trinchera pudo ser uno de los factores que ocasionaron el bajo grado de fusión parcial en las zonas fuentes de estos magmas. En síntesis, las características tectónicas y magmáticas de este sector de la cordillera de los Andes parecen no haber sido óptimas para la formación de yacimientos metálicos de clase mundial, como por ejemplo los cinturones de pórfidos de Cu del Eoceno Medio-Oligoceno Temprano y Mioceno-Plioceno Temprano del sector chileno de los Andes Centrales (N de los 34° S), que constituyen la mayor concentración cuprífera del mundo. Estos yacimientos se formaron en áreas con fuerte control estructural y abundante magmatismo pre-sin y postmineral (Maksaev *et al.* 2007), en donde hubo un acortamiento extremo y engrosamiento de la corteza superior y su consecuente levantamiento y rápida exhumación. Estas condiciones tectónicas son consideradas fundamentales para la génesis de yacimientos de Cu gigantes, dado que favorecen el almacenamiento del magma en cámaras magmáticas grandes y poco profundas desde las cuales eventualmente son expulsados inusuales volúmenes de fluidos hidrotermales (Sillitoe & Perelló 2005 y referencias allí citadas). Los eventos tectónicos de contracción que producen un menor engrosamiento cortical ($d \gg 40$ km), como el acaecido en la cordillera de los Andes de Neuquén, parecen ser menos fértiles desde el punto de vista metalogénico (Sillitoe & Perelló 2005).

En la zona extraandina, la inversión de las estructuras y fallas normales que controlaron la formación de los *rifts* triásicos (de la Dorsal de Huincul y del Dorso de Los Chihuidos acaecida entre el Jurásico y el Cenozoico; Vergani *et al.* 1995; Mosquera & Ramos 2006), permitieron las migraciones de hidrocarburos y las aguas de formación desde las rocas fuentes hacia los reservorios desde el Cretácico Temprano al Mioceno (Legarreta *et al.* 2003) y estas aguas ricas en cloruros pudieron transportar S, Cu y otros metales y precipitarlos en las rocas sedimentarias más permeables en distintas etapas de la evolución de la cuenca. La edad de los prospectos de Cu (V-U-Ag) alojados en las sedimentitas del Grupo Neuquén estaría comprendida entre el Paleógeno y el Mioceno.

En el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, el cambio a una subducción ortogonal produjo un régimen extensional en la zona de retroarco con la subsecuente erupción de basaltos olivínicos y la formación de las manifestaciones de hierro asociadas a estos basaltos.

Finalmente, las vetas auríferas del distrito minero Andacollo son diferentes a las restantes manifestaciones

vetiformes localizadas en la cordillera neuquina. No se conocen las edades de estas vetas ni sus vínculos genéticos con un determinado período magmático-hidrotermal, en consecuencia, las razones fundamentales que controlan estas diferencias metalogénicas permanecen sin dilucidar. La vinculación tectónica entre el desarrollo de las vetas y el levantamiento principal de la cordillera del Viento hacia fines del Cretácico, indicaría también una relación genética de estas vetas con el magmatismo del Cretácico Tardío -Paleógeno (pre-Eoceno) (Giacosa *et al.* 2010b).

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a los colegas Raúl Giacosa y Eduardo Zappettini por brindarnos información inédita del distrito minero Andacollo y de las manifestaciones de hierro bandeado del NO de la provincia. Un reconocimiento especial a los Drs. Eduardo Llambías y Víctor Ramos y al Lic. Adolfo Giusiano por las lecturas críticas y sugerencias sobre versiones previas de esta contribución que nos ayudaron a mejorarla y al Dr. Ramos por brindarnos bibliografía actualizada sobre la Tectónica de los Andes.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bookstrom, A. 1995. Magmatic features of iron ores of the Kiruna-type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry: a discussion. *Economic Geology* 90: 469-473.
- Casé, A. & Malvicini, L. 1999. El pórfido de cobre con oro de la Quebrada del Bronce, Neuquén. En: Zappettini, E.O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, 35: 1337-1341. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Casé, A.M. López Escobar, L. Danieli, J.C. & Schalamuk, A. 2008. Butalón igneous Rocks, Neuquén, Argentina: Age, stratigraphic relationships and geochemical features. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 188-203.
- Casé, A.M. & Danieli, J.C. 1975. Importancia Económica de los Recursos Auríferos del Distrito Andacollo. Departamento Minas. Provincia del Neuquén. 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 2: 169-182.
- Camus Infanta, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, 267 p. Santiago.
- Chabert, M. & Zanettini, J.C. 1999. Pórfiro cuprífero Campana Mahuida, Neuquén. En: Zappettini, E.O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Anales, 35: 1279-1288. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Danieli, J.C., Casé, A.M. & Deza, M.A. 1999. El distrito minero de Andacollo, Neuquén. En: Zappettini, E.O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 1349-1364. Buenos Aires.
- Danieli, J.C., Ronconi, N., Casé, A.M. & Gings, M. 1979. Estudio Comparativo de los Distritos Mineros «Andacollo» y «Cerro Atravesada». Provincia del Neuquén. Argentina. 2º Congreso Geológico Chileno. Actas 2: 506-522. Arica.
- De La Cruz, R. y Suárez, M. 1997. El Jurásico de la cuenca de Neuquén en Lonquimay, Chile: Formación Nacientes del Biobío (38°8' - 39°8' S). *Revista Geológica de Chile*, 24: 3-24. Santiago.

- Domínguez, E. & Garrido, M. 1995. Los yacimientos auríferos de Varvarcó y su relación con la mineralización de Andacollo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1-4: 78-86. Buenos Aires.
- Domínguez, E. & Gómez, M. 1988. El Régimen Hidrotermal de la Veta de Cuarzo Aurífero «Erika», Andacollo, Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1: 24-42. Buenos Aires.
- Domínguez, E.A., Aliotta, G., Garrido, M., Danieli, J.C., Ronconi, N., Casé, A.M. & Palacios, M. 1984. Los Maitenes-El Salvaje, un sistema hidrotermal de tipo porfírico. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 443-458, San Carlos de Bariloche.
- Ferguson, K.M., Dungan, M.A. Davidson, J.P. & Colucci, M.T. 1992. The Tatara-San Pedro volcano, 36°S, Chile: a chemically variable dominantly mafic magmatic system. *Journal of Petrology* 33: 1-43.
- Franchini, M. & Malvicini, L. 1999. Las vetas auríferas del Cerro Mayal, Neuquén. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Anales 35, 1365-1367, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Buenos Aires.
- Franchini, M., Impiccini, A., Meinert, L., Grathof, G., y Schalamuk, I. 2007. Phyllosilicate Variability and Exploration Significance in the Campana Mahuida Porphyry Cu Deposit, Neuquén, Argentina. *Economic Geology*, 102: 27-54.
- Franchini, M., López Escobar, L., Schalamuk, I. & Meinert, L. 2003. Magmatic characteristics of Paleocene Cerro Nevazón region and other Late Cretaceous to Early Tertiary calc-alkaline subvolcanic to plutonic units in the Neuquén Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 399-421.
- Franchini, M., Meinert, L. & Schalamuk, I. 1999. Mineralized, Scapolite-Rich Skarns from Cajón Grande and Cajón del Medio Creeks, NW Neuquén, Argentina. En: Stanley, C.J., et al., (Eds.): *Mineral Deposits: Processes to Processing*, vol. 2: 1043-1046. Published by Balkema, Rotterdam, Netherlands
- Franchini, M., Meinert, L. & Montenegro, T. 2000. Skarns related to porphyry-style mineralization at Caicayen Hill, Neuquén, Argentina. Composition and evolution of hydrothermal fluids. Special issue devote to mineralized hydrothermal skarn systems. *Economic Geology*, 35: 1197-1213.
- Garrido, M., Barra, F., Domínguez, E., Ruiz, J. & Valencia, V. 2008. Late Carboniferous porphyry copper mineralization at La Voluntad, Neuquén, Argentina: Constraints from Re-Os molybdenite dating. *Mineralium Deposita* 43:591-597.
- Giacosa, R., González, R., Danieli, J.C. 2010a. Geología Estructural de los sistemas vetiformes de Andacollo (Cordillera del Viento, Neuquén). Memoria, inédito, 45 pp, Segemar. General Roca (Río Negro).
- Giacosa, R., González, R. & Danieli, J.C. 2010b. Tectónica en el sistema vetiforme (Au y Ag con sulfuros) de Andacollo. Cordillera del Viento, Neuquén. Simposio S-16, Depósitos minerales en Argentina: modelos y técnicas de exploración. 18° Congreso Geológico Argentino, en prensa.
- Giusiano, A. & Bouhier, E. 2009. Mineralización de Cu en el Grupo Neuquén vinculada a la migración de hidrocarburos. Dorso de los Chihuidos, Neuquén, Argentina. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 11: 6-18. Buenos Aires.
- Giusiano, A., Franchini, M.B., Pons, J. & Impiccini, A. 2009. Mineralización de Cu en el Grupo Neuquén asociada a la presencia de hidrocarburos, Dorsal de Huinul, Neuquén, Argentina. 9° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas en CD. San Fernando del Valle de Catamarca,
- Hahn, G. & Thorson, J.P. 2005. Geology of the Lisbon Valley sandstone-hosted disseminated Copper deposits, San Juan County, Utah. Unpublished manuscript. Available at Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado.
- Hildreth, W.E. & Moorbath, S. 1988. Crustal contribution to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 98: 455-489.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. & Selly, D. 2005. The Sediment-Hosted Stratiform Copper Ore System. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 609-642.
- Kay, S.M., Burns, M. & Copeland, P. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay S.M. & Ramos V.A. (Eds): *Evolution of an Andean Margin: A tectonic and Magmatic View From the Andes to the Neuquén Basin (35–39° S)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 19–60. Boulder.
- Kay, S.M., & Copeland, P. 2006. Early to middle Miocene backarc magmas of the Neuquén Basin: Geochemical consequences of slab shallowing and the westward drift of South America. En: Kay S.M. & Ramos VA (Eds): *Evolution of an Andean Margin: A tectonic and Magmatic View From the Andes to the Neuquén Basin (35–39° S)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 185-214. Boulder
- Kozłowski, E.E., Cruz, C.E. & Sylwan, C.A. 1996. Geología estructural de la zona de Chos Malal, cuenca Neuquina, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas, 1: 15-26. Mendoza.
- Leanza, H.A., Brodtkorb, M.K. de, Brodtkorb, A. & Danieli, J.C. 1990. La Formación Chachil (Liásico) y sus niveles manganesíferos en el área del cerro Atravesada, provincia del Neuquén, Argentina. 3°. Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: 171-186. Olavarría.
- Legarreta, L., Cruz, C., Vergani, G., Laffitte, G. & Villar, H. 2003. Source Rocks, Reserves and Resources in the Neuquén Basin, Argentina: Mass Balance Approach and Exploratory Potential. International Congress and Exhibitions of the American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 87 (13): 1-10. Barcelona.
- Llambías, E. J., 1986. Intrusivos pérmicos del sur de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 41(1-2): 22-32. Buenos Aires.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. & Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la cordillera del Viento (37°05'S – 37°15'S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62 (2): 217-235. Buenos Aires.
- Llambías, E., & Rapela, C. 1989. Las volcanitas de Collipilli, Neuquén y su relación con otras unidades Paleógenas de la Cordillera: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 44: 224-236. Buenos Aires.
- Llambías, E.J. & Malvicini, L. 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 33(4): 257-276, Buenos Aires.
- Lyons, W.A. 1999. Las areniscas cupríferas del Neuquén. En: Zappettini, E., O. (Ed.): *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 1149-1158. Buenos Aires.
- Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C. & Camus, F. 2007. Metallic ore deposits. En: Moreno, T. & Gibbons, W. (Eds.): *The*



- Geology of Chile, Geological Society of London: 179- 199. Londres.
- Maretto, H. & Pángaro, F. 2005. Edad de formación de algunas de las grandes estructuras del engolfamiento de la Cuenca Neuquina: Actividad tectónica durante la depositación de la Formación. Quintuco. 6° Congreso. de Exploración. y Desarrollo. de Hidrocarburos. CD. Mar del Plata
- Minniti, S.A., Gutiérrez Pleimling, A.R., Artiaga, M.E. & Pestalardo, F. 1986. Análisis estructural y estratigráfico de la Faja Plegada Neuquina a latitud de 37°30', Departamentos de Ñorquín y Pehuenches, provincia de Neuquén. Comisión Geológica YPF, Informe inédito, 64 p. Plaza Huinul.
- Mosquera, A. & Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Basin. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds): Evolution of an Andean margin: A Tectonic and Magmatic View from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39° S), Geological Society of America, Special Paper 407: 97-124. Boulder.
- Mpodozis, C. & Kay, S.M. 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin; evidence from Chilean Frontal Cordillera batholiths (28° to 31° S). Geological Society of America Bulletin 104: 999-1014.
- Nyström, J.O. & Henríquez, F. 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry. Economic Geology, 89: 820-839.
- Parada, M.A., López Escobar, L., Oliveros, V., Fuentes, F., Morata, D., Calderón, M., Aguirre, L., Feraud, G., Espinoza, F., Moreno, H., Figueroa, O., Muñoz Bravo, J., Troncoso Vázquez, R. & Stern, C. 2007. Andean Magmatism. En: Moreno, T. & Gibbons, W. (Eds): The Geology of Chile Geological Society of London: 115-146.
- Pardo Casas, F. & Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. Tectonics 6: 233- 248.
- Pons, J., Franchini, M., Giusiano, A., Impiccini, A. & Godeas, M. 2009. Alteraciones, Mineralización de Cu y Bitumen en Areniscas Cretácicas del Prospecto Barda González, Neuquén, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Argentina, 64 (3): 321-333. Buenos Aires.
- Pons, J., Franchini, M., Meinert, L., López Escobar, L. & Maydagán, L. 2010. Geological, petrographical and geochemical features of igneous rocks related to skarn mineralizations in the NW Neuquén basin (Argentina): Implications for Cordilleran skarn exploration Ore Geology Review (en prensa).
- Ramos, V.A., Zapata, T., Cristallini, E. & Introcaso, A. 2004., The Andean thrust system- Latitudinal variations in structural styles and orogenic shortening. En: K. R. McClay (Ed): Thrust tectonics and hydrocarbon systems, American Association of Petroleum Geologists Memoir 82: 30- 50.
- Ramos, V. & Kay, S. 2006. Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35–39° S). En: Kay SM, Ramos VA (Eds). Evolution of an Andean Margin. A Tectonic and Magmatic View from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S). Geological Society of America, GSA, Special Paper 407: 1–17. Boulder.
- Ramos, V.A. 1975. Los ciclos sedimentarios y biorhexistacia en el control de las manifestaciones cupríferas del Neuquén extraandino, Argentina. 2° Congreso. Ibero-Americano de Geología Económica 5: 373-394. Buenos Aires.
- Rapela, C. & Llambías, E. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Neuquén, Argentina: 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 3: 4-458-4-488. Antofagasta.
- Rhodes, A.L. & Oreskes, N. 1999. Oxygen Isotope Composition of Magnetite Deposits of El Laco, Chile: Evidence of Formation from Isotopically Heavy Fluids. En: Skinner, B.J. (Ed). Geology and Ore Deposits of the Central Andes, Society of Economic Geologists Special Publication 7: 333-351.
- Rojas, G.E. 1999. Distrito uranífero Los Chihuidos-Las Cárceles. En: Zappettini, E., O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 1143-1146. Buenos Aires.
- Seedorff, E. & Einaudi, M.I. 2004. Henderson porphyry molybdenum system, Colorado: I. Sequence and abundance of hydrothermal mineral assemblages, flow paths of evolving fluids, and evolutionary style: Economic Geology 99: 3-37.
- Sillitoe, R.H. & Perelló, J. 2005. Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: En: Hedenquist, J.W, Thompson, J.F.H., Goldfarb, R. & Richards, J. (Eds.): Economic geology one hundredth anniversary volume (1905–2005). Society of Economic Geologists: 845-890. Littleton.
- Silvestro, J. & Zubiri, M. 2008. Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la dorsal Neuquina (39° S). Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63: 49-64. Buenos Aires.
- Somoza, R. 1998. Updated Nazca (Farallon) - South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean region. Journal of South America Earth Sciences 11: 211-215.
- Tormey, R.D., Frey, F.A. & López-Escobar, L. 1991. Recent lavas from the Andean volcanic front (33 to 42° S); interpretations of along-arc compositional variations. En: Harmon, R.S., Rapela, C.W. (Eds.): Andean Magmatism and its Tectonic Setting, Geological Society of America Spatial Paper 265: 57-77. Boulder.
- Veiga, R., Pángaro, F. & Fernández, M. 2002. Modelo bidimensional y migración de Hidrocarburos en el ámbito occidental de la Dorsal de Huinul, Cuenca Neuquina, Argentina. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD. Mar del Plata.
- Vergani, G.D., Tankard, H.J., Belotti, H.J. & Welsnik, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En: Tankard, A.J., Suarez Soruco, R., & Welsnik, H.J. (Eds): Petroleum basins of South America: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Zappettini, E.O. & Dalponte, M. 2010. Lower Jurassic Algoma-Type BIF Mineralization at Cordillera del Viento, NW Neuquén, Argentina. XIII Quadrennial IAGOD Symposium. Proceedings: 278-279. Adelaida. Australia.
- Zappettini, E. 1999. El yacimiento de hierro Huantraico, Neuquén. En: Zappettini, E.O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 1751-1753. Buenos Aires
- Zonenshayn, L.P., Kononov, M.V. & Savostin, L.A. 1987. Pacific and Kula/Eurasia relative motions during the last 130 Ma and their bearing on orogenesis in northeast Asia. En: Monger, J.W. & Francheteau, J. (Eds.): Circum-Pacific orogenic belts and evolution of the Pacific Ocean basin. International Lithosphere Program, Geodynamics Series, 18: 29-48.
- Zonenshayn, L.P., Savostin, L.A. & Sedov, A.P. 1984. Global paleogeodynamic reconstructions for the last 160 million years: Geotectonics, 18, 3: 48-59.