

Evolución metalogenética de las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero: Ciclos prepampeano y pampeano

Diana MUTTI¹, Alejandro DI MARCO¹, Selvia TOURN¹, Carlos HERRMANN^{1,2}, Silvana GEUNA¹, Osvaldo CACCAGLIO¹ y Sebastián GONZÁLEZ CHIOZZA¹.

¹Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires
E-mail: mutti@gl.fcen.uba.ar. FAX 4576-3329

²Servicio Geológico Minero Argentino, Av. J.A.Roca 651 p8, Buenos Aires.

RESUMEN. La hipótesis de evolución metalogenética de las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero propone cinco estadios metalogenéticos, de los cuales los dos primeros se abordan en este trabajo: el estadio 1 - vinculado con la apertura y expansión neoproterozoica del océano proto-atlántico - forma parte del ciclo extensional prepampeano. Durante el mismo se generaron depósitos volcanogénicos submarinos de Cu-Fe (Zn-Au-Ag-Co) en basaltos, W (B-F-Zn) en calizas y dolomías impuras y Fe en sedimentos silicoclásticos, y manifestaciones transicionales entre éstos y MVT de Cu (Au-Ag) y Pb-Zn (Ag-Cu-Au) en calizas y dolomías impuras; a él se asocian concentraciones magmáticas de Cr en tectonitas del manto y de Fe-Ti en ultramafitas-mafitas de la zona de transición corteza-manto. En una reconstrucción global neoproterozoica, se establece la distribución de los depósitos prepampeanos y su relación espacial con los principales distritos volcanogénicos submarinos, SEDEX y MVT del océano proto-atlántico. El ciclo compresional pampeano - famatiniano comprende dos estadios. El estadio metalogenético 2 (Neoproterozoico - Cámbrico temprano) corresponde al ciclo orogénico pampeano, durante el cual se desarrollaron numerosas estructuras deformacionales y magmatismo, generándose manifestaciones magmático-metamórficas de Fe-Ti en diques ultramáficos y máficos en tectonitas del manto, manifestaciones metasomáticas de Fe-Ti en rodingitas y pegmatitas portadoras de Be-Li-U-ETR, además de transformaciones (metamorfismo, deformación, removilización y recristalización) en depósitos de Cr, Cu-Fe (Zn-Au-Ag-Co), W (B-F-Zn), Cu (Au-Ag), Pb-Zn (Ag-Cu-Au) y Fe, que condicionan su respuesta magnética. Para los depósitos y manifestaciones de los estadios metalogenéticos descriptos se propone una distribución espacial según fajas vinculadas con megaestructuras activas a partir de los ciclos prepampeano y pampeano, y las asociaciones petrogenéticas más significativas.

Palabras claves: Metalogénesis, Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero, Fajas mineralizadas, Correlación yacimientológica prepampeana - pampeana.

ABSTRACT. *Metallogenic evolution of the Sierras Pampeanas of Córdoba and south of Santiago del Estero: Prepampean and Pampean cycles.* This hypothesis of metallogenic evolution of the Sierras Pampeanas of Córdoba and south of Santiago del Estero proposes the existence of five metallogenic stages, two of which are treated in this paper: stage 1 belongs to the prepampean extensional cycle and is connected with the Neoproterozoic opening and expansion of the proto-Atlantic ocean. During this stage submarine volcanogenic deposits were developed such as Cu-Fe (Zn-Au-Ag-Co) in basalts, W (B-F-Zn) in impure limestones and dolomites, and Fe in silicoclastic sediments, as well as transition occurrences from them to MVT deposits of Cu (Au-Ag) and Pb-Zn (Ag-Cu-Au) in impure limestones and dolomites. Chromite magmatic deposits in mantle tectonites and of Fe-Ti in ultramafic rocks in the transition crust-mantle zone are also related to stage 1. Distribution of the Prepampean deposits and their space relationship with the main submarine volcanogenic, SEDEX and MVT areas in the proto-atlantic ocean are placed on a global reconstruction for Neoproterozoic age. The compressive Pampean - Famatinian cycle comprises two stages. Metallogenic stage 2 (Neoproterozoic - early Cambrian) corresponds to the pampean orogenic cycle, during which numerous deformation structures and magmatism were developed. During this stage magmatic-metamorphic occurrences of Fe-Ti in ultramafic and mafic dikes in mantle tectonites, metasomatic occurrences of Fe-Ti in rodingites and Be-Li-U-ETR rich pegmatites were generated, besides transformation events comprising metamorphism, deformation, remobilization and recrystallization occurred in deposits of Cr, Cu-Fe (Zn-Au-Ag-Co), W (B-F-Zn), Cu (Au-Ag), Pb-Zn (Ag-Cu-Au) and Fe, which affected their magnetic response. Ore deposits and occurrences included in the above metallogenic stages are distributed in this study in belts related to megastructures activated during the Prepampean and Pampean cycles and the most significant petrogenetic associations are indicated.

Key words: Metallogenesis, Sierras Pampeanas, Córdoba, Santiago del Estero, Mineralized belts, Prepampean, Pampean, Ore deposit.

Introducción

Este trabajo constituye la primer parte de un aporte a la metalogenia de las Sierras Pampeanas de Córdoba y del sur

de Santiago del Estero, luego de la síntesis en Zappettini (1999) y de las investigaciones de la última década que combinan aspectos petrológicos, mineralógicos, estructurales, geoquímicos, geofísicos e isotópicos a diversas escalas de

observación en minas, grupos y distritos mineros metalíferos seleccionados por su representatividad.

Las Sierras Pampeanas de Córdoba integran el antepaís del orógeno andino y exponen un basamento neoproterozoico y eopaleozoico que junto con las restantes entidades que componen las Sierras Pampeanas, la Precordillera, el Sistema de Famatina y la Puna predominan en la arquitectura de la región central y noroccidental de la Argentina.

La evolución dinámica de la corteza en esta porción de terreno determinó la fuente de fluidos mineralizantes, sus canales de circulación y las áreas de precipitación durante los eventos de mineralización acontecidos desde el Neoproterozoico hasta el Cenozoico. Para el análisis de la evolución metalogenética se enfocan cinco aspectos relevantes: 1) la delimitación y distribución temporal y espacial de los picos de mineralización metalífera; 2) su vinculación con eventos tectónicos y geológicos particulares; 3) redefinición de las paragénesis metalíferas de la región sobre la base del concepto de anomalía geoquímica positiva, de acuerdo con un factor de enriquecimiento endógeno de al menos 10^3 para Cr, Fe, Ti, Mn, W, Sn, Bi, Mo, Be, Li, ETR, U, Ta, Nb, P, V, Cu, Zn, Cd, Ag, Pb, As, Sb, Co y F y de 10^2 para Au, con respecto al valor medio en la corteza terrestre, siguiendo la metodología de Laznicka (1999); 4) el análisis de los procesos involucrados y la determinación de las posibles fuentes de elementos metálicos y las condiciones físico-químicas para su precipitación dentro de escalas de magnitud local, distrital y de dominio metalogenético, y 5) establecimiento de una evolución cronológica para la generación de canales conductores de fluidos mineralizantes, abordando tanto su relación temporal con los eventos metamórficos y magmáticos, como el comportamiento reológico de la corteza a diversas profundidades.

Síntesis geológica de las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero

Las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero forman una entidad de basamento que aflora entre los $29^{\circ} 20'$ y 33° de latitud sur y $64^{\circ} 30'$ y $66^{\circ} 30'$ de longitud oeste, se extiende 120 km en sentido E-O y 370 km en sentido N-S, para continuar otros 100 km hacia el NNE en las sierras de Ambargasta y Sumampa, provincia de Santiago del Estero (Fig. 1). Presentan un estilo tectónico de bloques basculados, limitados por fallas inversas reactivadas en el Cenozoico, que controlaron elevaciones de orientación N y NNE, con una altura máxima de 2.840 m s.n.m. Los bloques están compuestos esencialmente por un basamento metamórfico-ígneo, que localmente es cubierto por sedimentitas del Paleozoico tardío o por basaltos mesozoicos alcalinos transicionales a tholeiíticos (Lagorio 2003). El sistema serrano está separado por valles longitudinales con relleno sedimentario del Terciario y Cuaternario.

En las sierras de Córdoba y de Santiago del Estero predominan las metamorfitas y las rocas magmáticas; de acuerdo con Pankhurst y Rapela (1998) su evolución proterozoica a paleozoica temprana corresponde a los ciclos pampeano y famatiniano y la del Carbonífero temprano-Cretácico temprano y del Cretácico tardío hasta la actualidad a los ciclos

gondwánico y andico respectivamente. Los ciclos pampeano y famatiniano involucran la anexión al margen sudoccidental del supercontinente Gondwana de los terrenos Pampia y Precordillera a los ~ 530 Ma y ~ 465 Ma respectivamente, mientras que los subsiguientes ciclos contemplan la evolución del protomargen y margen actual del Océano Pacífico durante la desestructuración del supercontinente Pangea, la cual determinó la actual configuración continental.

Evolución metalogenética

Las Sierras Pampeanas de Córdoba y Santiago del Estero comprenden numerosas escamas tectónicas apiladas durante las orogenias pampeana y famatiniana, que se ponen en contacto mediante fallas inversas de alto ángulo de direcciones NNO y N, a metamorfitas de grado variable desde facies granulita hasta esquistos verdes. La arquitectura expuesta del basamento fue parcialmente controlada por la reactivación de fajas de deformación presumiblemente precámbricas a neopaleozoicas cuyas mejores exposiciones se localizan próximas al margen sudoccidental del sistema serrano, tanto en la sierra de Comechingones como en la sierra Grande de Córdoba.

La evolución metalogenética para esta porción del basamento se reunió en cuatro ciclos principales de deformación de la corteza, que comprenden extensión o alargamiento y acortamiento por compresión. Estos ciclos, definidos siguiendo parcialmente la nomenclatura empleada en Zappettini (1999), son: ciclo extensional prepampeano, ciclo compresional pampeano-famatiniano, ciclo extensional gondwánico y ciclo compresional andico. Cada uno de ellos involucra sucesivos estadios de movilización y depositación de elementos metálicos (se consignan con numeración arábica) y definen fajas mineralizadas donde se identifican metalotectos estructurales y litológicos, entre otros, que otorgan a las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero un carácter de dominio especializado en Cr, W, Fe, Cu, Zn, Pb, Ti, Au, Bi, Be, Li, U, Mn, F, B y subordinado en Sn, Mo, ETR, Ta, Nb, V, Cd, Ag, Sb, Co, P, As, S, Te, Se y Ba.

Ciclo extensional prepampeano

En la evolución del basamento Proterozoico a Paleozoico inferior son numerosas las incógnitas aún por develar para la etapa prepampeana, y más precisamente para el lapso mesoproterozoico a neoproterozoico. No obstante, los aportes vertidos por Omarini y Sureda (1993), Kraemer *et al.* (1995), Rapela *et al.* (1999), Baldo *et al.* (1999), Dalla Salda *et al.* (1999), Rapela (2000) y Ramos *et al.* (2000) sustentan para esta porción de basamento una evolución proterozoica a partir de un margen pasivo, ubicado al occidente del antiguo cratón del Río de la Plata. Los estudios petrológicos, geoquímicos e isotópicos indican para las sierras de Córdoba y Santiago del Estero, protolitos sedimentarios integrados mayormente por grauvacas con intercalaciones de subgrauvacas, pelitas (Fig. 2a), calizas y dolomías que permiten interpretar una asociación de ambiente turbidítico transicional

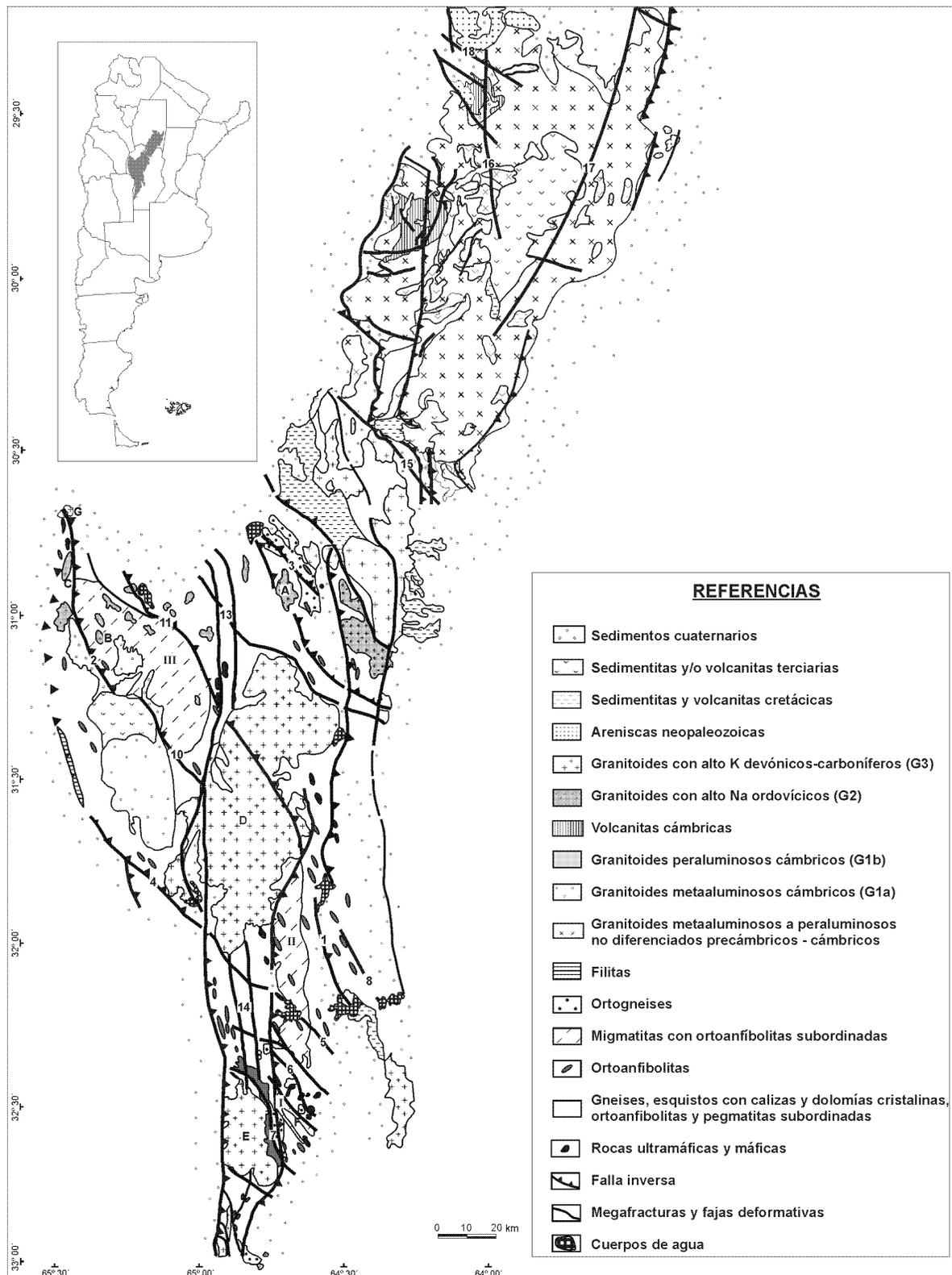


Figura 1. Mapa esquemático de las sierras de Córdoba y sur de Santiago del Estero, con asociaciones petrotectónicas más significativas. Macizos migmatíticos Huerta Vieja - Tala Cruz (I), Atos Pampa - Cerro Pelado (II) y San Carlos (III). Megafracturas y fajas deformativas Santa Rosa (1), Guasapampa (2), Cruz del Eje - La Granja (3), Altautina (4), Cerro Pelado (5), Cerro San Lorenzo - Lutti (6), La Aguada (7), Soconcho (8), Los Túneles (9), Ambul - Mussi (10), Dos Pozos - La Higuera (11), La Lajas (12), Guamanes (13), Guacha Corral (14), Deán Funes (15), Oncán (16), Ojo de Agua (17) y Pozo Grande (18). Granitoides La Fronda (A), Mesa del Coro (B), Agua de Ramón (C), Achala (D), Cerro Áspero (E), Los Cocos (F), Serrezuela (G) y Capilla del Monte (H).

hacia aguas marinas someras. En esta asociación se intercalan niveles de metabasaltos tholeiíticos (anfíbolitas) con afinidad MORB-N desde la zona de las fallas de Santa Rosa y Guasapampa, que evolucionan químicamente hasta términos de basaltos, basandesitas y dacitas calcoalcalinas y alcalinas de intraplaca con afinidad OIB o de dorsal anómala hacia el noroeste y suroeste, exponiendo basaltos de tipo MORB - E (Fig 2b). Dataciones realizadas mediante Sm-Nd indican una edad próxima a 600 Ma para las anfíbolitas (Mutti y González Chiozza 2000), que destacan además su continuidad geoquímica hacia el oeste en las basitas de la sierra del Morro, provincia de San Luis (Mutti, datos no publicados), donde participan junto a sedimentos metapelíticos y a intercalaciones metapsamíticas y metacarbonáticas. En cuanto a los gneises y migmatitas de Córdoba, los resultados del análisis SHRIMP de 20 núcleos de circones provenientes de los Complejos Metamórficos Pichanas y Quilpo en el NO del sistema serrano, presentados por Sims *et al.* (1998), sustentan a Gondwana como fuente de aporte del material detrítico y destacan dos picos en las edades de sedimentación, que se distribuyen en los *ca.* 1000 Ma (Grenvilliano) y entre los 700 y 600 Ma (Brasiliano). Sims *et al.* (1998) homologan el material detrítico de Córdoba y San Luis con el descrito por Gibson e Ireland (1996) para Australia, Nueva Zelanda y el oeste de Antártida.

La Formación Puncoviscana, con niveles metapelíticos y turbidíticos atribuidos por Durand (1996) al Precámbrico tardío (Vendiano) y al Cámbrico temprano (Tommotiano), es la expresión en el norte del territorio argentino de la asociación neoproterozoica de ambiente turbidítico con intercalaciones basálticas de las sierras de Córdoba (Omarini y Sureda 1993; Rapela 2000).

Al respecto, Omarini y Sureda (1993) señalan un atenuamiento cortical hacia el apogeo tectónico del ciclo brasiliano (~ 700 Ma) como consecuencia del ascenso astenosférico del manto superior; involucró en la etapa de riftogénesis a un volcanismo alcalino ultrapotásico que evolucionó en la etapa distensiva madura a un volcanismo bimodal tholeiítico, aún con tendencia alcalina y con afinidades OIB o de dorsal anómala (Coira *et al.* 1990; Rapela *et al.* 1992).

La etapa de desarrollo de la Formación Puncoviscana durante el Neoproterozoico (675 - 600 Ma) definió, de acuerdo con la hipótesis planteada y ampliada para las sierras de Córdoba y Ambargasta, la formación de secuencias volcano-sedimentarias con abundante material clástico de naturaleza turbidítica que habría estado posicionado en el margen oriental del denominado terreno Pampia (Rapela 2000) o como unidades integrantes del océano Brasilides de acuerdo con Dalziel (1997). A una escala geodinámica global, se destaca que de acuerdo con Moores *et al.* (2000) entre los 800 y 600 Ma se produjo la evolución del supercontinente Rodinia mediante un recurrente atenuamiento cortical relacionado a extensiones y desarrollo de zonas transcurrentes conducentes a una fragmentación de la corteza continental y la creación de cortezas oceánicas poco evolucionadas o con caracteres inmaduros.

Estadio metalogénico 1: rifting y expansión de fondo oceánico

La actividad exhalativa volcanogénica y la formación de

secuencias volcano-sedimentarias, promovieron el desarrollo de depósitos y manifestaciones estratiformes y estratoligados de Cu - Fe (Zn - Au - Ag - Co) y W (B - F - Zn) en basaltos y/o calizas y dolomías impuras proximales a centros exhalativos, y manifestaciones distales de Cu (Au - Ag) y Pb - Zn (Ag - Cu - Au) en cuerpos carbonáticos y de Fe en material silico-clástico (Fig. 3). Pese a haber sido removilizados a partir del ciclo pampeano, estos depósitos y manifestaciones se disponen en fajas de rumbo NNO que se distribuyen con un arreglo geométrico concentrado alrededor de un eje; se define un dominio principal portador de las asociaciones de Cu - Fe (Zn - Au - Ag - Co) en torno a la falla Santa Rosa y de W (B - F - Zn) en torno a las fallas Ambul y Guasapampa. El extremo NE de las sierras exhibe para ambas asociaciones una disposición similar, pero de menor envergadura, en el ámbito de la megafalla Cruz del Eje - La Granja (Fig. 3).

La formación de una litósfera oceánica proterozoica, de acuerdo con Mutti (1992; 1994a y b), Escayola (1994), Kraemer *et al.* (1995) y Ramos *et al.* (2000), estaría vinculada con la actual exposición de rocas ultramáficas en las sierras Chica, Grande y de Comechingones; rocas emplazadas tectónicamente en el protomargen de Gondwana y metamorfizadas a partir del ciclo Pampeano. Las tectonitas de manto y las rocas integrantes de la denominada ofiolita de Córdoba por Haller (1986) y Escayola (1994) son portadoras de depósitos y manifestaciones de cromoespinelos y óxidos de Fe - Ti de origen magmático y magmático - metamórfico, de acuerdo con Villar (1985) y Mutti (1999).

1.1. Depósitos y manifestaciones volcanogénicas submarinas de Cu - Fe (Zn - Au - Ag - Co) en basaltos: Las mineralizaciones se distribuyen desde el sur de la localidad de Cruz del Eje en el norte hasta las proximidades de la ciudad de Berroarán en el sur, agrupadas en tres distritos: *Punilla, Santa María y Calamuchita*; son concentraciones de escaso tonelaje (< 0,1 Mt) que generaron un modesto desarrollo minero local en el período comprendido entre los años 1920 y 1950. Al distrito Punilla corresponden, entre otras, las *minas Cunuputo, Cuchi Corral y Las Cuevas*, las dos primeras ubicadas en la sierra de Cunuputo y la restante al este de la Cumbre de Gaspar. En el distrito Santa María se ubican las *minas Curuzú, Aída Rosa, Aída y 25 de Mayo* en el flanco oriental de la sierra de Comechingones. Al distrito Calamuchita pertenecen las *minas Tauro, Tío, Tacurú, Rita y Estrella Gaucha*, ubicadas sobre la sierra Chica de Córdoba (Fig. 3).

No obstante el alto grado de deformación y metamorfismo de la región, se preservan depósitos y manifestaciones compuestas por magnetita + calcopirita y/o bornita, con cantidades variables de ilmenita + hematita + pirita ± pirrotina ± esfalerita ± oro (plata) nativos ± sulfosales de cobre y antimonio ± carrolita, con texturas masiva, diseminada y en estructura de stockwork relicta en rocas metabasálticas, suscriptas al modelo yacimientoológico de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) por Mutti *et al.* (1997), Mutti y Di Marco (1999) y Di Marco (2003).

Entre las características comunes a los depósitos y manifestaciones de los tres distritos se cita que: son cuerpos biextendidos concordantes con los metabasaltos y con una relación largo/ancho superior a 30:1; la alteración hidrotermal

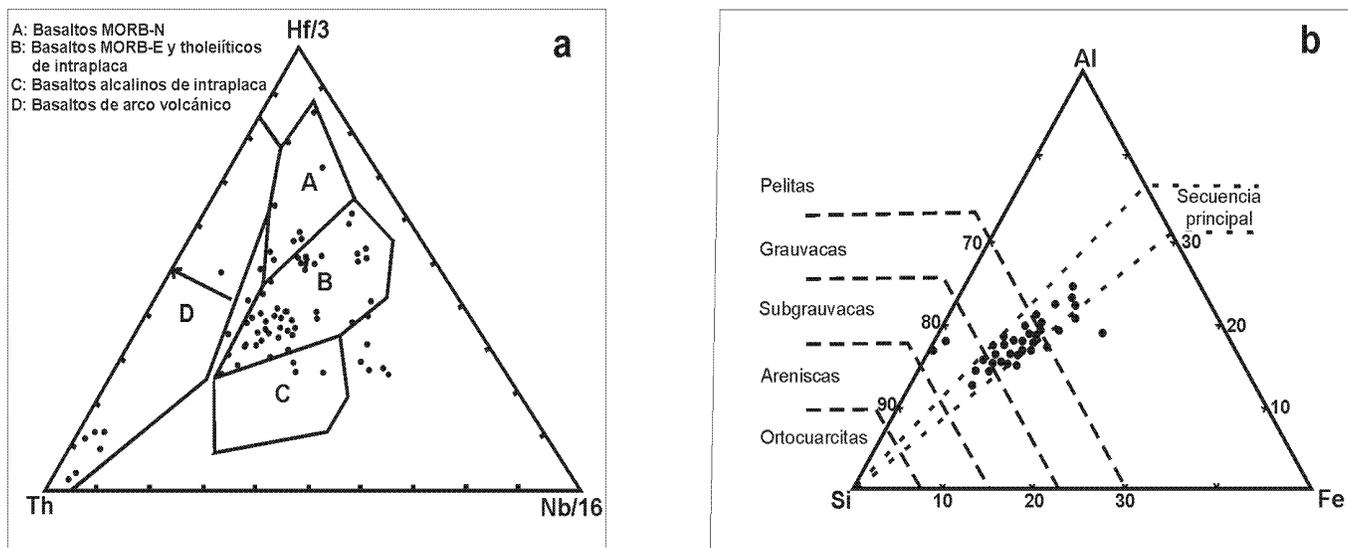


Figura 2. Diagramas discriminatorios aplicados a rocas de la sierras de Córdoba y sur de Santiago del Estero. a. Th - Hf - Nb/16 (Wood 1980) para anfibolitas. b. Si - Al - Fe (Moore y Dennen 1970), para gneises y esquistos paraderivados; las líneas discontinuas limitan el campo de la tendencia sedimentaria principal, definida por una relación Al : Fe entre 1,5 : 2,5.

en los cuerpos mineralizados se dispone con una zonación en halos concéntricos de silicificación - feldespatización - biotitización - epidotización - cloritización y ocasionalmente de albitización - caolinitización, que reproduce al patrón químico de zonación de los depósitos tipo VMS máficos y/o máfico - silicoclástico; la ganga predominante es silíceo (cuarzo); sus contenidos de cobre son superiores al 2% con anomalías geoquímicas positivas de Zn - Au - Ag - Co - Cd - Ba - S - As - Se (Te) y sólo ocasionalmente de Bi - Mo - Sb - Pb - U - Sr. Los estudios isotópicos en calcopiritas relicticas indican valores de $\delta^{34}\text{S}$ cercanos a 5‰, consistentes con fuentes de aporte magmático y/o hidrotermal para los sulfuros de menas (Di Marco 2003).

Algunos de los depósitos presentan aspectos salientes, como la mina Tío que conserva un perfil completo de una secuencia VMS, compuesto por bandas de hierro + sílice en el nivel superior, sulfuros masivos en el sector intermedio y sulfuros con relictos de stockwork en la zona basal; observándose en el resto de los depósitos secuencias incompletas debido al grado de deformación sufrido. Por otra parte, y de acuerdo a la clasificación de Hannington *et al.* (1999) que diferencia entre VMS convencionales y auríferos en función de la proporción entre metales base : oro : plata, los depósitos y manifestaciones del distrito Punilla, del norte de las sierras de Córdoba, se ubican en el grupo de los VMS convencionales, mientras que se registra un incremento paulatino de oro en las menas hacia el sur de las sierras (distritos Santa María y Calamuchita), hasta llegar a un VMS aurífero en la mina Estrella Gaucha (Di Marco 2003). Este aumento está además acompañado por una mineralogía más compleja (sulfosales polimetálicas de Zn - Ag - As - Sb), una correlación positiva del oro con Se, Te y Ba, y una mayor participación de rocas básicas.

1.2. *Depósitos volcanogénicos submarinos de W (B - F - Zn) en calizas y dolomías impuras:* Numerosas manifesta-

ciones portadoras de scheelita sinsedimentaria fueron descritas por Ametrano (1997; 1999), Tourn (1999), Herrmann (1999) y Gamba (1999) para los distritos *Altautina*, *Agua de Ramón*, *Ambul* y *Pampa de Olaen*, respectivamente (Fig. 3). La mineralización scheelítica estratoligada se aloja en bancos estratiformes de rocas calcosilicáticas de potencia entre 0,50 y 2,50 m y longitudes de 10 a 200 metros, que yacen en contacto con mármoles y anfibolitas e integran la secuencia sedimentaria silicoclástica de orden regional.

De acuerdo con Gamba (1999) y Tourn (2000), la sedimentación silicoclástica proterozoica se depositó en un margen estable con dominio en el ámbito de los distritos Pampa de Olaen y Agua de Ramón de pelitas y grauvacas (protolitos de los esquistos gnéisicos); mientras que hacia el sector sudoccidental, en los distritos Altautina y Ambul, Ametrano (1997) y Herrmann (2002) indican predominio de grauvacas y subgrauvacas (protolitos de los gneises). La actividad ígnea asociada está representada principalmente por derrames de composición básica, expuesta como anfibolitas y biotititas flogopíticas, y por actividad exhalativa ácida testimoniada por esquistos turmalínicos, turmalinitas y cuarzitas spessartíticas. En cuanto a los derrames de composición básica, el estudio geoquímico de las anfibolitas indica protolitos afines con basaltos MORB-N en la región de Agua de Ramón; mientras que en los distritos Ambul, Altautina y Pampa de Olaen fueron vinculadas con un volcanismo de arco de islas de tipo basáltico - tholeiítico.

De acuerdo con Gamba (1999), la mineralización scheelítica en Pampa de Olaen yace en rocas calcosilicáticas pertenecientes a un ambiente de plataforma carbonática, que indican en Villa del Soto una edad U/Pb de 509 ± 2 Ma según Fantini *et al.* (1998). Ametrano (1999), Tourn (2000) y Herrmann (2002) señalan para la limitada expresión areal de los niveles carbonáticos un origen asociado al calentamiento del agua de mar, postulación que en un orden regional correspondió a Brodtkorb y Pezzutti (1991), y a la acción conjunta de fluidos

hidrotermales que aportaron W, B, F y Zn junto a Ca en una primera instancia para evolucionar hacia una sedimentación cada vez más magnésiana.

La scheelita se encuentra diseminada en los cuerpos lenticulares de rocas calcosilicáticas; es de grano fino a medio y sus relaciones texturales la señalan como un mineral petrogenético de cristalización hasta postcinemática y sincrónica con granates y epidotos. Se asocian como accesorios escasos sulfuros y fluorita. En coticules y biotitas flogopíticas, Ametrano (1999) cita contenidos anómalos positivos en Cu y Zn, un patrón de ETR y una relación Fe/Ti vs. Al/(Al + Fe + Mn) que sustenta un origen hidrotermal para estos litotipos. Esta información ha sido avalada por estudios isotópicos de turmalina que expresan una valor de $\delta^{11}\text{B} = -18,8\%$, similar al hallado en sulfuros masivos de Broken Hill (Herrmann 2002).

1.3. Manifestaciones y depósitos transicionales entre volcanogénicos submarinos y del tipo Valle del Mississippi de Cu (Au - Ag) y Pb - Zn (Ag - Cu - Au) en calizas y dolomías impuras: Los mármoles de los distritos Cañada de Álvarez y Atos Pampa son portadores de Cu (Au - Ag) y Pb - Zn (Ag - Cu - Au) en concentraciones estratiformes y estratoligadas (Fig. 3). Los estudios geoquímicos efectuados por Mutti y Di Marco (1999) en los niveles mineralizados indican valores de hasta 1,4 % Cu, 4 g/t Au, 1000 g/t Ag, 7,41 % Pb y 7,42 % Zn.

La mineralización cuprífera se aloja en potentes secuencias de calizas dolomíticas y dolomías cristalinas con actitud media NNO/45° a 75° ENE y longitudes y anchos de 3,5 km y 600 m y de 0,25 km y 70 m en los distritos Cañada de Álvarez y Atos Pampa respectivamente. Estas rocas carbonáticas tienen tendencia pseudohomoclinal definida por pliegues de amplio radio y sus paragénesis son representativas de facies anfibolita y granulita; poseen interestratificaciones finas de niveles cuarzo - granatíferos portadores de sulfuros de cobre, dispuestos con un arreglo espacial crenulado, conformando una textura interpretada por Brodtkorb *et al.* (1981) como de origen algal. La mineralización plumbo cincífera es masiva y yace en roca carbonática bajo niveles impermeables de metasedimentitas clásticas, con presencia de grafito y finos niveles metabasálticos.

La mineralización de cobre de tipo estratiforme está asociada a la variedad carbonática de color gris, con espesores variables entre algunos milímetros y 6 centímetros, y se distribuye en ciclos repetitivos de hasta 50 cm de espesor. Está representada por calcosina rómbica, con cantidades menores de pirrotina, calcopirita, bornita, wittenhenita y chispas de oro (plata) nativos. La calcosina presenta textura kamacítica, mientras que los demás minerales son redondeados y con tamaños inferiores a 20 micrones. Brea (2002) describe procesos removilizantes de los elementos metálicos vinculados a skarns de reacción. Las menas plumbo cincíferas están integradas por galena argentífera y esfalerita con pirita, calcopirita y tetraedrita - tennantita subordinadas en ganga cuarzo carbonática (Mutti y Di Marco 1996).

En cuanto al ambiente de formación de estas concentraciones metalíferas premetamórficas, a partir de la reconstrucción paleogeográfica de Dalziel (1997) para el Mesoproterozoico y

Neoproterozoico se destaca que el área se ubicaría en la latitud de $\sim 30^\circ$. Leach *et al.* (2001) proponen que depósitos similares de tipo Valle del Mississippi (MVT) se desarrollaron entre las latitudes de 30° y 50° , bajo condiciones de aridez y próximos a cinturones orogénicos que por tectonismo activaron la circulación de aguas meteóricas a partir de megafacturas. Esta hipótesis fortalece las propuestas de Brodtkorb *et al.* (1981), Mutti y Di Marco (1996) y Mutti *et al.* (1998), quienes sustentan que la mineralización responde a una sedimentación química en un ambiente de tipo sabkha desarrollado en una cuenca marina restringida o costera. Sugiere además similitud con mecanismos de depositación que regulan a los yacimientos MVT, aunque de acuerdo al modelo metalogénico de Leach *et al.* (2001) la ausencia de un cinturón orogénico próximo durante la formación de las manifestaciones metalíferas podría ser una causa limitante en las dimensiones de los depósitos, debido al escaso volumen de fluido liberado capaz de transportar los elementos metálicos a la cuenca.

Asimismo, según Mutti y Di Marco (1999) los contenidos de La, Si, Al, Sr, Ba, S, P, As, Th y Zn sugieren para el distrito Atos Pampa una posición distal o de cuenca marina menos profunda en relación a las calizas dolomíticas de Cañada de Álvarez, donde se registran los mayores espesores de la secuencia carbonática. La correlación Pb - Cu - Zn de los depósitos, junto con la presencia regional de metabasaltos marinos portadores de mineralización VMS y finos niveles de probable filiación volcanoclástica intercalados en la secuencia carbonática, permiten sustentar para estas manifestaciones un vínculo con un tipo transicional entre sulfuros masivos volcanogénicos (VMS), sedimentarios exhalativos (SEDEX) y Valle del Mississippi (MVT).

1.4. Manifestaciones volcanogénicas submarinas de Fe en sedimentos silicoclásticos: En la faja de deformación Los Túneles, de edad cámbrica tardía - ordovícica temprana de acuerdo con Martino *et al.* (2003), se reconocen manifestaciones estratiformes de minerales de hierro dentro de rocas de la serie milonítica, junto con niveles de cuarzo que yacen próximos a cuerpos de metabasaltos con scheelita diseminada. La mineralización de magnetita representada en la Pampa de Pochó en las *minas José Suarez, San Antonio y Cerritos Blancos* (Fig. 3), es concordante con la secuencia litológica local y las labores exponen la mineralización de hierro en pequeños mantos discontinuos de decenas de metros de largo y pocos centímetros de potencia media, según una faja intermitente en echelón de 50 m de ancho y 1000 m de largo. Los depósitos están compuestos por bandas alternantes de magnetita y cuarzo, junto con cantidades subordinadas de apatita, biotita, epidoto y sericita, minerales producto del metamorfismo regional. En el contacto de la roca de caja con la mineralización mantiforme aparece magnetita de grano fino diseminada y cristales de turmalina (Bassi y Valvano 1947). La mineralogía es indicativa de la presencia de P y B junto con Fe en las exhalaciones y es compatible con emisiones, junto con las características estructurales y texturales a partir de zonas de extensión en un piso oceánico. Las manifestaciones ferríferas son similares a las descritas por González (2000) para la provincia de San Luis y se destaca que los ensayos químicos realizados

por Bassi y Valvano (1947) denuncian contenidos elevados de FeOt (42,80 %), SiO₂ (36,47 %) y P₂O₅ (15,64 %) y trazas de S (0,29 %), que sustentan la hipótesis metalogénica.

1.5. Depósitos y manifestaciones magmáticos de Cr en tectonitas del manto: Los mismos se incluyen dentro de este estadio evolutivo y corresponden a concentraciones metalíferas fraccionadas en el manto durante una etapa previa a la formación de los basaltos con afinidad oceánica y que integran las ofiolitas de Córdoba de acuerdo con Mutti (1995).

Son cuerpos podiformes, groseramente lenticulares, con largo menor a 6 m y ancho inferior a 2 metros; yacen en la sierra de Comechingones en los *distritos Atos Pampa, Los Guanacos, Cerro San Lorenzo y Los Permanentes* (Fig. 3). Los hay concordantes, subconcordantes y discordantes con las estructuras metamórficas penetrativas de la región, se presentan con mineralización diseminada o en concentraciones de hasta 80 % de cromita. Se alojan en serpentinitas de protolito harzburgítico u ortopiroxenítico portadoras de diques e impregnaciones de composición normativa lherzolitica, wehrlítica, websterítica, clinopiroxénica, gábrica y gabronorítica. Los cuerpos ultramáficos con mineralización cromoespinelífera y polimetamorfismo (Mutti 1987; 1999) se extienden desde el macizo migmático de Atos Pampa hasta el de Huerta Vieja (Fig. 1). Estos cuerpos están asociados a cizallas simples, dúctiles y no coaxiales de rumbo NNO que afectaron niveles basales durante el orógeno pampeano y que fueron reactivadas hasta el ciclo Andico inclusive. Las ultramafitas están desmembradas y forman cinturones emplazados mediante una suela metamórfica que se estima de 600 Ma y se relaciona con el inicio de la fase Tilcárica (Omarini y Sureda 1993) según Mutti y González Chiozza (2000).

Las características químicas de las ultramafitas mineralizadas sugieren, de acuerdo con Sosa (2001), que son rocas del manto poco evolucionadas pero enriquecidas en elementos livianos (LREE y LFSE), probablemente vinculadas con procesos de fusión parcial del manto y/o heterogeneidades de la fuente y cuyo residuo sólido retuvo al grupo de elementos menos incompatibles (HREE y HFSE). Mutti (1995) establece para estas tectonitas de manto un ambiente de supra-subducción; sin embargo el aporte de Moores *et al.* (2000) permite reinterpretar para la generación de estas rocas la existencia de heterogeneidades en el manto (antiguo material subductado) que fueron capaces de inducir durante el Mesoproterozoico - Neoproterozoico episodios de actividad ígnea a través de *hot spots*, plumas y superplumas y que reflejan la historia de la evolución del manto previa a la expansión oceánica del proto océano de Córdoba o de la cuenca pericratónica de Córdoba.

La cromita de los depósitos fue afectada por numerosos procesos de reequilibración química; pese a que los núcleos de los espinelos conservan caracteres químicos y texturales magmáticos. De acuerdo con Mutti (1994a y b) son Cr-Al espinelos con un número de Mg comprendido entre 0,80 y 0,50 y un número de Cr variable entre 0,40 y 0,75; varían entre 1 y 8 mm en tamaño, son subhedrales a anhedrales y poseen una ley mineral < 40% Cr₂O₃. La cromita magmática tiene inclusiones relicticas de olivina y piroxeno serpentinizados, textura *pull apart* y yace en una matriz dunitica u ortopiroxenítica

serpentinizada que la vincula a condiciones de formación de alta temperatura y a la migración de mezclas silicatadas a través de canales conductores controlados por una cinemática de cizallamiento relacionada a la expansión lenta de un fondo submarino o a una cuenca de retroarco (Mutti 1998; Sosa 2001). Las menas investigadas por Fernández (1993) y González Chiozza (1998) poseen correlaciones positivas con Zn, V, Bi y Mn, que se vinculan con mecanismos de difusión magmática y postmagmáticos equivalentes a los descriptos por Economou - Eliopoulos (2001).

1.6. Manifestaciones magmáticas de Fe - Ti en ultramafitas - mafitas de la zona de transición entre la corteza y el manto: Son manifestaciones alojadas en metagabros y series de rocas ultramáficas - máficas expuestas en la sierra Chica. Estas series fueron interpretadas como integrantes de secuencias de rocas de la zona de transición entre la corteza y el manto por Mutti (1997), de niveles gábricos estratificados asociados a una etapa de rift (Pugliese y Villar 2002) y como representantes de la corteza oceánica de la secuencia ofiolítica de Córdoba (Escayola *et al.* 1996). Las concentraciones metalíferas de La Cocha (Fig. 3), integran de acuerdo con Pugliese y Villar (2002) estratos del orden del milímetro al centímetro dentro del complejo ígneo estratificado La Cocha. El complejo forma una lente elongada en dirección N - S de 1,3 km de largo y 0,4 km de ancho y presenta una estratificación rítmica vertical, en la cual se distinguen tres ciclos de cumulatos, todos portadores de magnetita e ilmenita (Pugliese 1994). La parte basal del complejo está ocupada por un cumulato ultramáfico, le sigue un cumulato máfico y los afloramientos culminan con un cumulato con clinopiroxeno. Su geoquímica los ubica como pertenecientes a una serie tholeiítica, interpretada por Pugliese (1994) y Escayola *et al.* (1996) como un complejo estratificado equivalente al de Stillwater. La magnetita e ilmenita del complejo fueron descriptas como granos subidiomorfos de 0,5 mm y hasta 4 mm y considerados productos de decantación magmática.

Cuerpos mineralizados similares fueron citados por Schalamuck *et al.* (1980) en el área de Las Cañadas en la provincia de Catamarca, con edades K/Ar de 512 ± 29 y 500 ± 20 Ma para las metaultramafitas y metagabros de los cerros Cascabel y Rico, próximas a los picos metamórficos pampeano y famatiniano, respectivamente. Al respecto, Miller *et al.* (1978), en su estudio de la deformación de las metamorfitas del área de Las Cañadas portadoras de la mineralización, correlaciona esta serie de rocas con la Formación Puncoviscana.

Ciclo compresional Pampeano - Famatiniano

Ciclo Pampeano

La etapa de rifting y expansión del fondo oceánico se vio interrumpida hacia fines del Precámbrico por el inicio de eventos compresivos surgidos por el incremento del esfuerzo desde occidente hacia oriente, que culminó entre los 535 y 520 Ma con la acreción del terreno Pampia al margen gondwánico. Esta etapa de la evolución involucró la generación de un mar-

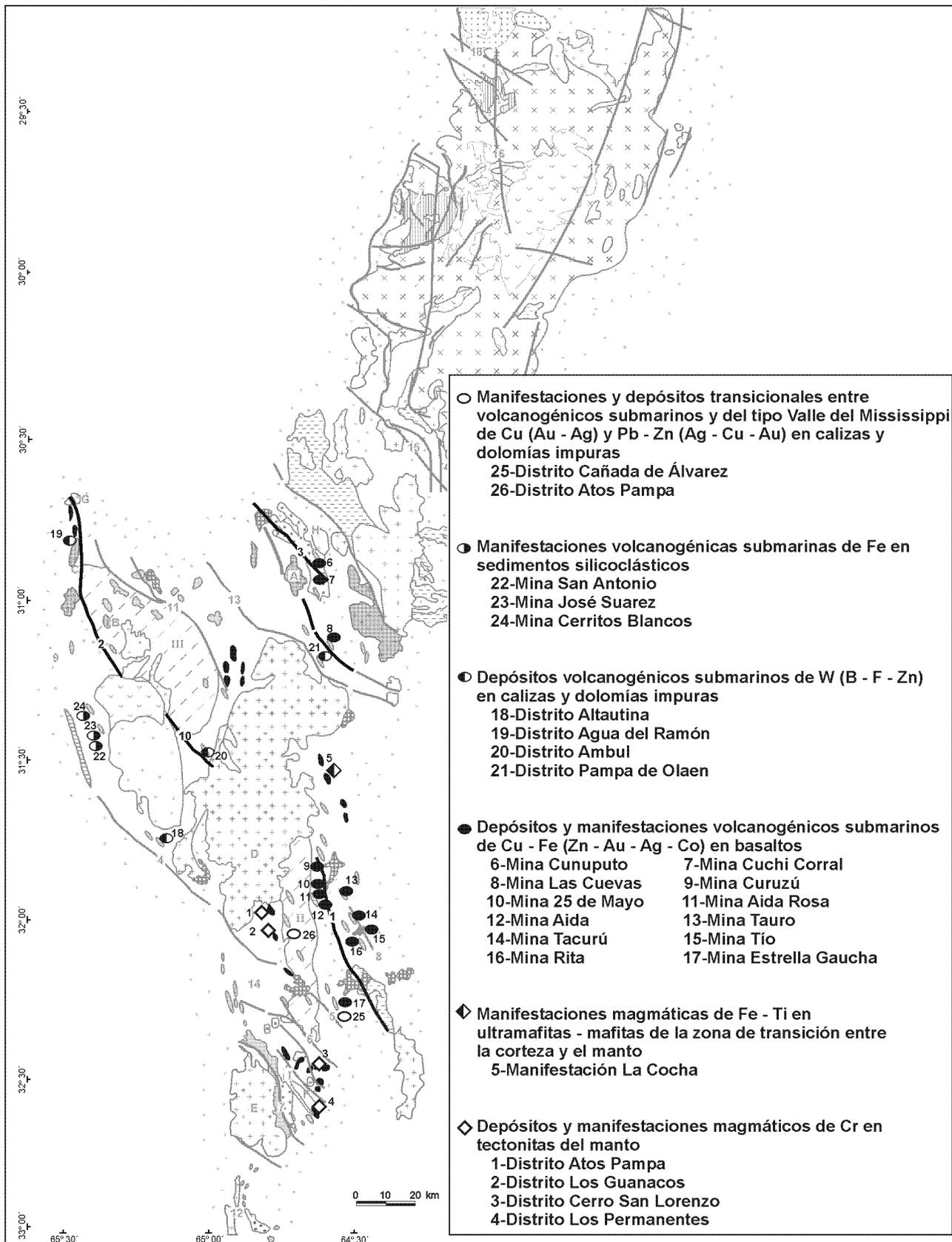


Figura 3. Modelos de depósitos asignados al Estadio Metalogenético 1 (Neoproterozoico), ubicación y vínculo con megaestructuras activas a partir del ciclo extensional Prepampeano; referencias en Fig. 1.

gen activo dominado por una zona de subducción hacia el oriente de vergencia occidental, cuya expresión actual se infiere por la posición de las rocas más antiguas ubicadas en las áreas cratonizadas del antiguo continente de Gondwana Occidental, como las del sistema de Tandilia en Argentina, las del subsuelo de la cuenca de Santa Lucía y las del terreno de Florida en Uruguay. La secuencia volcánico-sedimentaria que conforma gran parte del basamento de las sierras de Córdoba constituyó un potente prisma de acreción, el cual fue afectado por sucesivos metamorfismos como resultado de la compresión, colisión y amalgamación del terreno Pampea al margen de Gondwana. El metamorfismo inicial se desarrolló en facies de anfíbolita (M_1) y evolucionó en una trayectoria progradante hasta alcanzar el límite bajo de la facies de granulita (M_2). Durante esta etapa se produjo una importante migmatización y anatexis, conducente en los niveles profundos del orógeno a la formación - desde el noroeste hasta el sureste - de los macizos migmáticos San Carlos, Atos Pampa - Cerro Pelado y Tala Cruz - Huerta Vieja (Figs. 1 y 4). Las áreas migmáticas ubicadas en la zona central del antiguo orógeno alcanzaron en el área de Atos Pampa - Cerro Pelado las máximas temperaturas y presiones, de 800° C y 8 kb respectivamente de acuerdo con Guerreschi y Martino (2002), mientras que en los macizos San Carlos y Huerta Vieja - Tala Cruz los datos aportados por Martino (1993) y Guerreschi y Martino (2002) indican 760° C - 6 kb y 776° C - 7,9 kb respectivamente.

La fusión de rocas ígneas (granitos de tipo I) o sedimentarias (granitos de tipo S) generó la intrusión de series de rocas metaaluminosas en la raíz del arco (ortogneises y granitoides G1a; Rapela *et al.* 1998), ampliamente distribuidas y expuestas en la sierra de Comechingones, en el sector N de la sierra Chica y Grande y en la sierra de San Pedro Norte principalmente, y también de granitos (G1b) como los que afloran en las sierras Norte de Córdoba, en las sierras de San Pedro Norte, Ambargasta y Sumampa, entre otras (Fig. 1). Estas unidades también intruyen a la Formación Puncoviscana.

Los granitoides calcoalcalinos (G1b) estudiados por Lira *et al.* (1996), Rapela *et al.* (1998), Miró (2001) y Leal (2002) en la sierra Norte de Córdoba, poseen un carácter meta a peraluminoso y edades K/Ar sobre roca y U/Pb en circón (SHRIMP) de 554 ± 12 Ma y de 530 ± 4 Ma y 514 ± 4 Ma respectivamente. Linares y González (1990) presentan para términos menos diferenciados edades de 717 ± 30 Ma y 630 ± 20 Ma y Castellote (1985) de 612 ± 20 Ma. Los estadios póstumos del ciclo magmático están representados por diques hipabisales de composición mesosilíceica y ácida integrantes de la Formación Oncán, con pronunciada alteración hidrotermal; las dataciones K/Ar sobre roca indican para esta orogenia una edad de cierre próxima a los 526 ± 13 Ma (Massabie *et al.* 2002). El magmatismo calcoalcalino sincolisional a poscolisional involucró el probable desarrollo de depósitos tipo porfíricos de sulfuros de Cu y Mo citados para la sierra de Ambargasta (Lira *et al.* 1997).

Como consecuencia del evento orogénico se desarrollaron numerosas estructuras deformacionales. Se identifica una primera fase tectónica que responde a un dominio relicto de valor regional (D_1) y orientación próxima al E - O, que fue obliterada parcialmente por la evolución del orógeno pampeano y por los ciclos orogénicos subsiguientes, destacándose

su reactivación durante el ciclo Andico. Este dominio, asignado al Neoproterozoico - Eocámbrico en la Formación Puncoviscana (Eremchuck *et al.* 1978), sierra de Ancasti (Miller *et al.* 1978), sierras de San Luis (Kilmurray y Dalla Salda 1977) y sierra de Pie de Palo, está bien preservado en la sierra Chica de Córdoba en las asociaciones ultramáficas - máficas de Bosque Alegre, Alta Gracia y en las del macizo migmático de Atos Pampa (Mutti 1987; Bendayán 1994), así como en la sierra de Comechingones.

El dominio estructural D_2 (Dalla Salda 1984) de orientación NNO a NO es el de mayor envergadura regional y está definido por una evolución compleja asociada a estructuras planares penetrativas (S_2) de dirección media estadística 330° que buzan mayoritariamente 40° a 50° al este y por ejes de pliegues de azimut 342°; para Guerreschi y Martino (1998; 2003) y Mutti y González Chiozza (2003) están asociados a un metamorfismo dinámico. Este dominio posee una evolución metamórfica progradante, desde el grado medio (M_1) hasta el grado alto (M_2 , M_3), y una retrogradación metamórfica hasta el grado medio (M_4). Guerreschi y Martino (1998; 2003) y Mutti y González Chiozza (2003) describen a S_2 como una foliación compuesta que determinó la formación de *mullions* en las migmatitas y un cizallamiento de dirección ~310° a 340° (S_3) dentro de un campo de evolución continuo identificado en gran parte de los afloramientos de la sierra de Comechingones, al sur de los 32° de latitud sur. El desarrollo de cizallas del tipo simple durante el evento térmico M_3 , dentro de un nivel dúctil de la corteza pampeana, controló la imbricación de áreas migmáticas como las de Huerta Vieja y del macizo de San Carlos y el emplazamiento tectónico de cuerpos gábricos como los de San Lorenzo, Atum Pampa y Suya Taco (Chincarini *et al.* 1998; Sosa 2001), de las metabasitas de la Formación La Aguada (Mutti *et al.* 2001; Mutti y González Chiozza 2003) y de las ultrabasitas expuestas en la sierra de Córdoba. Esta deformación definió tectolíneas como la de Soconcho y las cartografiadas al oeste de la falla de Santa Rosa, entre otras (Figs. 1 y 4). En cuanto al rumbo de los lineamientos asociados al dominio D_2 , el reconocimiento a partir de fotogramas e imágenes satelitales a una escala de trabajo inferior a 1: 100.000 permite establecer para gran parte de las estructuras de cizalla un cambio progresivo de rumbo dextrógiro, que abarca desde los azimutes de ~280° hasta de ~340°, tal como se observa en el lineamiento Cerro San Lorenzo - Lutti (Fig. 1). Esta rotación horaria se interpreta como resultado de un esfuerzo compresivo que generó una deformación no coaxial en un nivel dúctil de la corteza pampeana y que disminuyó en magnitud hacia el este.

La posterior descompresión con enfriamiento produjo el metamorfismo retrógrado de grado medio (M_4) y la exhumación de niveles profundos del eje del orógeno, afectando de acuerdo con Guerreschi y Martino (2003) a los macizos San Carlos, Atos Pampa - Cerro Pelado y Huerta Vieja - Tala Cruz. La evolución metamórfica prosiguió con un descenso de temperatura hasta alcanzar un grado bajo de metamorfismo (M_5), bajo condiciones hidratantes y estáticas, caracterizadas por un aumento de la fugacidad de oxígeno en el sistema rocoso.

Estadio metalogénico 2: primer ciclo orogénico

Asociado a esta etapa de la evolución pampeana se desa-

rollaron numerosas estructuras deformacionales y variaciones de presión, temperatura, presión de agua y de fugacidad de oxígeno, entre varios aspectos, con implicancias metalogénicas. Como consecuencia, en los depósitos preexistentes se produjo una importante removilización de los elementos metálicos y transformaciones de sus leyes. Es probable también que, relacionado con el emplazamiento de los granitoides metaaluminosos a profundidades comprendidas entre los 10 y 5 km, se hayan desarrollado concentraciones del tipo mesotermal (en el sentido de Goldfarb *et al.* 2001 y Groves *et al.* 2003) con características homologables a los que yacen en Arabia Saudita y en el cinturón plegado de Brasilia, y otros de tipo pórfiro vinculados con cuerpos calcoalcalinos sub-superficiales; no obstante, el actual nivel de erosión alcanzado en gran parte de las sierras no permite la exposición de la mayor parte de estos modelos teóricos planteados.

2.1. Manifestaciones magmático - metamórficas de Fe - Ti en diques ultramáficos y máficos en tectonitas del manto: Aunque estas manifestaciones no han sido explotadas por su contenido de Ti o Fe, se encuentran expuestas en frentes de labores mineras vinculadas a la explotación de serpentinita y exploración de cromita en los distritos Atos Pampa, Los Guanacos, Cerro San Lorenzo, Los Permanentes y Loma Blanca (Fig. 4). Son diseminaciones de óxidos de Fe y Ti con textura en cadena o en rosario, alojadas en diques de composición normativa melagábrica a piroxenítica o piroxenítica plagioclasífera e intruidos en las tectonitas de manto y ocasionalmente en metagabros de las sierras de Comechingones y Chica (Mutti 1997).

Los diques portadores de mineralización hasta en un 40 % de su volumen presentan contenidos de ~ 6 % de TiO_2 y ~ 13 % de Fe_2O_3 , constituyen corridas menores a 100 m y la potencia es inferior a 3 metros; se emplazaron en fajas tectonizadas de roca ultramáfica y máfica con orientaciones D_1 (260° a 280°) y D_2 (320° a 330°), aunque también se registran cuerpos removilizados de azimut entre 350° y 10° que se subscriben al ciclo Famatiniano (deformación D_3). Las investigaciones de Fernández (1993), Bendayán (1994) y Le Roux *et al.* (1995) indican una composición de ilmenita y magnetita titanífera con contenidos de TiO_2 y Fe_2O_3 del 53,32 % y 42,84 % y del 11,80 % y 84,53 % respectivamente; participan también hematita y rutilo junto a escasas trazas de pirrotina, pirrotina niquelífera y calcopirita. Los óxidos presentan textura granoblástica y frecuentes contornos suturados e isoorientados con respecto a la dirección D_2 ; la ilmenita comunmente desarrolla textura de exsolución laminar o en disco en magnetita y también se encuentran exsoluciones de rutilo en ilmenita. El elevado contenido de Fe en especies minerales ferromagnéticas determina para esta rocas una susceptibilidad magnética volumétrica del orden de 0,1 – 0,2 SI y remanencias de hasta 60 A/m. Una fuerte anisotropía de la fábrica magnética, de hasta 40 % de AMS, se vincula con las texturas controladas por la dirección D_2 .

Las rocas metapiroxiénicas poseen ortopiroxeno broncita ($Wo_{0,49}En_{83,13}Fs_{16,38}$), ortoanfíbol antofilitico (Fe - Mg cumingtonita o Fe - gedrita), clinoanfíbol (cumingtonita ferromagnesiana y magnesiana), escasa olivina (Fo_{82}) y espinelo verde (66,36 % Al_2O_3 y 22,76 % MgO), mientras que en las

variedades gábricas domina la plagioclasa básica y la hornblenda tchermakítica. La mineralogía y textura indican, de acuerdo con Spears (1995) condiciones de formación de facies de granulita hasta el límite alto de la facies de anfibolita.

2.2. Manifestaciones metasomáticas de Fe - Ti en rodingitas: Las rodingitas son rocas subsaturadas en sílice y con minerales ricos en Ca, Mg, Al y/o Fe, relacionadas con serpentización y tectonismo de rocas ultramáficas y máficas, consideradas skarnoides por Einaudi *et al.* (1981) en los distritos Cerro San Lorenzo y Los Guanacos. Mutti (1998), Bahamonde (2001) y Sosa (2001) describen diques y lentes de rodingitas portadores de concentraciones de magnetita titanífera, ilmenita y hematita junto a espinelo verde, próximas al 20 % del volumen de la roca (Fig. 4). Al respecto, Bahamonde (2001) describe rodingitas con 39,98 % FeO_1 y 7,68 % TiO_2 . Los cuerpos rodingíticos presentan longitudes <10 m y un ancho inferior al metro; poseen una respuesta magnética característica con valores de susceptibilidad de hasta 0,05. Poseen rasgos miloníticos, así como cataclásticos debido a la tectónica famatiniana y posfamatiniana, y con frecuencia integran fragmentos de brecha cementados por gynnita niquelífera entre otros componentes. La mineralización se asocia con un incremento en la fO_2 y la P_{H_2O} .

2.3. Pegmatitas portadoras de Be - Li - U - Elementos de tierras raras: Tanto las pegmatitas pertenecientes a este ciclo metalogénico como las posteriores, fueron agrupadas por Galliski (1994a y b; 1999) en la Provincia Pegmatítica Pampeana. Aquellas que por sus características se incluyen en el ciclo Pampeano son las ubicadas en el distrito Altautina, al NE de Villa Dolores (Fig. 4). De acuerdo con la clasificación empleada por Galliski (1994a; 1999) se emparentan con la clase de elementos raros de filiación LCT tipos complejo y berilo, subtipos berilo o espodumeno; corresponden a cuerpos ovalados a lenticulares casi siempre de rumbo meridiano, composición granítica, con turmalina muy abundante junto con granate, triplita, berilo, apatita, columbita, espodumeno y ocasionalmente ambligonita y especies uraníferas. La pegmatita de mina Las Tapias, considerada la más representativa del distrito por su magnitud y por las características de su mena, fue datada por Linares (1959) con el método U/Pb, obteniendo un valor promedio de 520 ± 20 Ma. y por Linares y González (1990) mediante K/Ar, determinándose una edad de 465 ± 15 Ma. Estos datos, junto con la deformación dúctil sobreimpuesta, permitieron a Galliski (1999) considerar que el emplazamiento de las pegmatitas del distrito Altautina habría tenido lugar durante el ciclo Pampeano, y se considera que se emparentan con el estadio final de evolución magmática de los granitoides G1.

2.4. Transformaciones en los depósitos y manifestaciones de Cr: Los depósitos magmáticos de cromita en tectonitas del manto fueron profusamente afectados por la cinemática pampeana y por procesos de difusión intracrystalinos durante el alto grado del metamorfismo colisional u orogénico. Bajo un régimen reológico dúctil, los cuerpos ultramáficos fueron desmembrados, transportados, rotados y serpentinizados durante los episodios $D_1 - M_1$ y $D_2 - M_2, M_3$ y evolucionaron a través

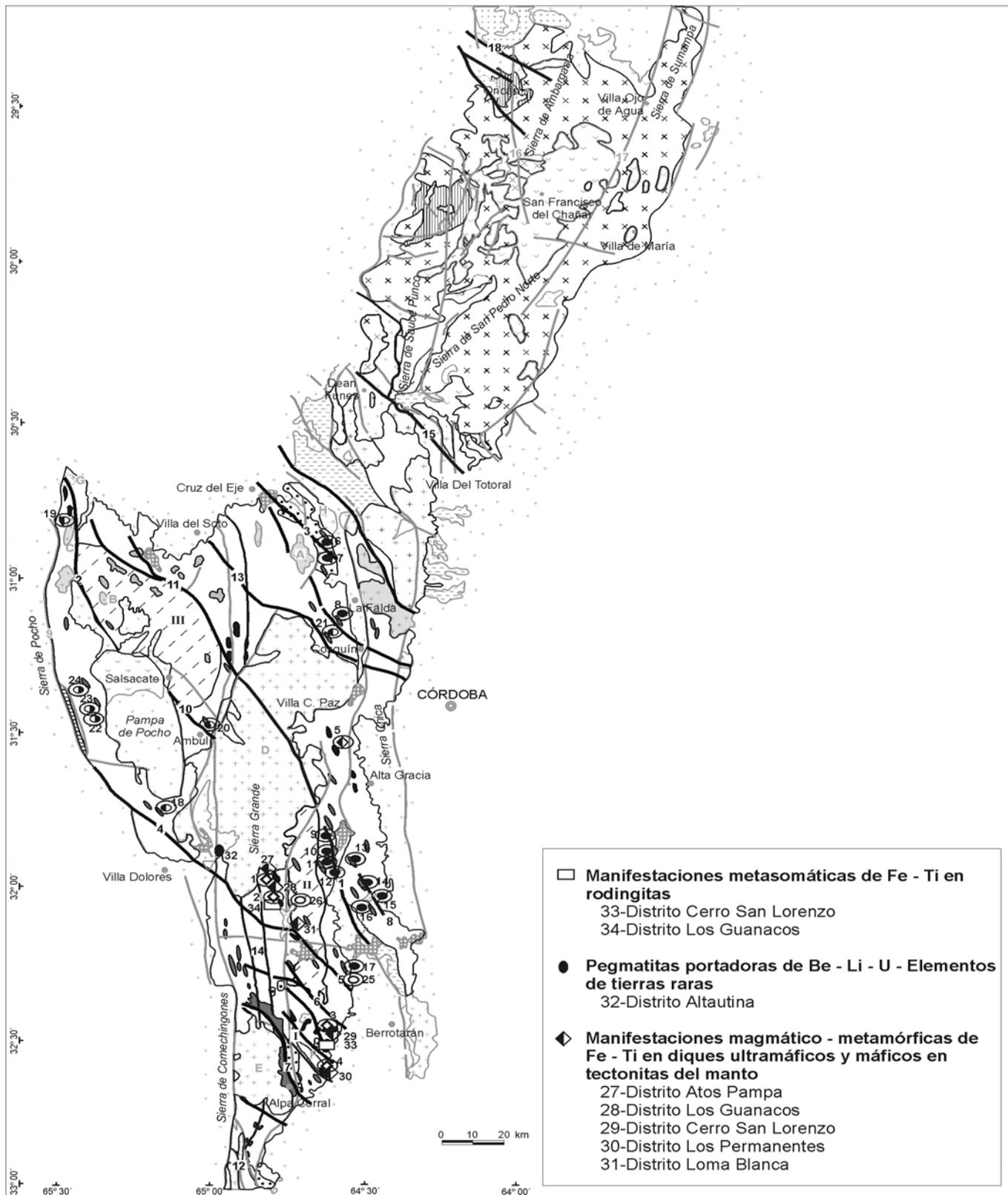


Figura 4. Modelos de depósitos asignados al estadio metalogénico 2 (Neoproterozoico tardío - Cámbrico temprano). Se indican las asociaciones petrogenéticas más significativas y megaestructuras activas a partir del ciclo compresional pampeano, referencias en Fig. 1. En elipse se señalan los depósitos transformados por la orogénia pampeana, referencias en Fig. 3.

de una trayectoria metamórfica progradante desde la facies de anfibolita (M_1) hasta la de anfibolita alta a granulita (M_2 , M_3). Como consecuencia, los cristales de cromita fueron afectados por exsoluciones en motas seriadas y con formas redondeadas a irregulares, con tamaños menores al micrón y hasta 200 mm y enriquecidas principalmente en Cr^{3+} y Fe^{3+} con respecto a la fase hospedante (Fernández 1993; Mutti 1994a; González Chiozza 1998). De acuerdo con Mutti (1994a) las fases exsueltas obedecen a la inmiscibilidad del Cr^{3+} y Fe^{3+} en el espinelo y a la sustitución del Al^{3+} de los sitios del octaedro bajo condiciones metamórficas de alto grado (temperatura $> 600^\circ C$ y presión moderada a alta) y durante incrementos de fO_2 , tal como lo indican Evans y Frost (1975). Para Mutti (1994a) este episodio determinó la formación de magnetita y hematita en discretos individuos diseminados y la liberación de Al^{3+} de la cromita promovió la participación de espinelo verde junto a piroxenos y anfíboles neoformados, brucita, antigorita y lizardita en la ganga de los depósitos. Los rasgos descriptos para los espinelos de Córdoba son equiparables a los estudiados por Suita y Streider (1996) y Loferski y Lipin (1983) en depósitos metamorfizados de Brasil y Estados Unidos respectivamente, destacándose que las transformaciones ocasionaron un aumento de la ley de mineral hasta alcanzar el 40 % Cr_2O_3 .

La deformación pampeana mediante plegamiento y cizallamiento dúctil (D_2) permitió la fragmentación y migración por flujo del mineral de cromo en las ultrabasitas metamorfizadas, ubicándose el espinelo cromífero en sitios distensivos controlados por las direcciones NNO, N a NNE, E y ENE (Mutti 1999), y los depósitos adquirieron una estructura tipo *schlieren* que oblitera parcialmente los rasgos magmáticos primarios. Sosa (2001) describe la deformación intracristalina de cristales de cromita de la mina 12 de Noviembre bajo un régimen de cizallamiento dúctil de alta temperatura y asociada al ciclo Pampeano. Además, Bahamonde (2001) sustenta la fragmentación y rotación de las ultramafitas mineralizadas del distrito Cerro San Lorenzo, así como la modificación de las menas debido al emplazamiento del gabro coronítico homónimo a través de la cizalla Cerro San Lorenzo - Lutti de orientación ONO a NO propuesta por Chincarini *et al.* (1998).

2.5. Transformaciones en los depósitos y manifestaciones de Cu - Fe (Zn - Au - Ag - Co): Durante la orogenia Pampeana los basaltos tipo MORB-N a MORB-E fueron metamorfizados, desarrollándose una asociación metamórfica regional de grado alto integrada por gneises y esquistos dominantes junto con anfibolitas, calizas y dolomías cristalinas y niveles silíceos de textura aplopegmatítica. El pico térmico M_3 se preserva en las metabasitas del centro y oeste de la sierra de Comechingones y en las áreas del Diquecito y La Calera de la sierra Chica descritas por Gordillo (1984); aunque en estas últimas no se localizaron concentraciones metalíferas significativas correlacionables con depósitos tipo VMS.

Los estudios geológicos llevados a cabo por Di Marco y Mutti (1995; 1996), Mutti y Di Marco (1999) y Di Marco (2003) en los depósitos tipo VMS resaltan una fábrica metamórfica dominante con texturas en cadena y rosario para los minerales de mena y ganga, controlada por las estructuras penetrativas regionales (S_3), y una similar intensidad de deformación en las

menas y rocas de caja alteradas y no alteradas, que avalan un origen pre tectonometamórfico con respecto al dominio D_2 .

La acción del ciclo Pampeano determinó la inhomogeneización composicional y homogeneización textural de la mineralización, la cual está representada por la separación en fases de los minerales de hierro (con titanio) primarios y por una población media con tamaños de grano mediano, aunque llegan hasta porfiroblastos. Se produjo removilización y recristalización metamórfica de óxidos, sulfuros, sulfosales y oro (plata) en escala microscópica y mesoscópica (desde milímetros hasta centímetros) a partir de la interfase de contacto entre los granos en las menas bandeadas ferrosilíceas. En particular se preservan estructuras de desmezcla integradas por hematita e ilmenita con exsoluciones mutuas en disco y en bastones, dispuestas según los planos de clivaje, que de acuerdo con Spears (1995) diagnostican un grado metamórfico alto. Además, los niveles metabasálticos dispuestos a modo de fajas de anfibolitas en el basamento, fueron desmembrados en cuerpos menores por su mayor competencia, generándose *boudins* de longitudes de hasta 200 m y potencias variables entre 15 y 100 metros. Estas metamorfitas poseen un conspicuo clivaje metamórfico y un bandeamiento composicional dado por la alternancia de hornblenda y de labradorita - bytownita con ocasional hipersteno, diópsido, cuarzo, biotita, titanita y apatita.

El metamorfismo M_2 - M_3 y su deformación involucrada controlan, a través de la mineralogía (asociación ilmenita - hematita + magnetita \pm rutilo) y la textura, la respuesta fuertemente magnética de las anfibolitas ubicadas al este de la faja de cizalla de Guacha Corral (Fig. 1), definiéndose valores de susceptibilidad de hasta 0,01 SI acompañada de una remanencia magnética muy estable y una marcada anisotropía de hasta 50 % AMS, que contrasta con aquellas ubicadas en las fajas de deformación por cizalla pertenecientes al ciclo famatiniano.

2.6. Transformaciones en los depósitos de W (B - F - Zn): La secuencia litológica fértil en la que yacen los depósitos de W fue transformada, a partir del metamorfismo pampeano, en una secuencia litológica especial descrita para los distritos de Ambul, Agua de Ramón, Altautina y Pampa de Olaen, integrada por una variedad de anfibolita y de esquistos flogopítico (representantes de la actividad básica en el fondo submarino) y por tres tipos de rocas calcosilicáticas (representantes de la actividad sedimentaria). Los litotipos calcosilicáticos, con metamorfismo de mediano a alto grado, son: A (con epidoto, calcita, cuarzo, spessartita y grossularia, flogopita, hornblenda, tremolita - actinolita, plagioclasa, scheelita), B (con anfíbol de la serie tremolita-actinolita, flogopita, carbonatos, scheelita, moscovita y apatita) y C o mármol dolomítico (con carbonato, sílice microcristalina, tremolita, talco, clinocloro, serpentina, moscovita y escasa scheelita), según Tourn (2000) y Herrmann (2002). Turmalinitas, esquistos turmalínicos y spessartíticos se asocian espacialmente a las rocas calcosilicáticas mineralizadas a escala regional. Las reducidas dimensiones de los afloramientos no hacen evidente el control estratigráfico local de la mineralización scheelítica, aunque el grado de difusión de las rocas calcosilicáticas es amplio a escala regional.

Los horizontes de rocas calcosilicáticas mineralizadas fueron afectados por la deformación D_2 que también originó esquistosidad y foliación en gneises y anfibolitas, bandeamiento en los mármoles, recrystalización de la sílice y pliegues de longitudes de onda de escala variable controlados por la reología de los materiales, desmembrando y transformando la morfología de los bancos individuales. Asimismo, los eventos deformativos dúctiles trajeron aparejada la removilización de scheelita, produciéndose concentraciones en aquellos sectores de mayor segregación, generalmente vinculados a las charnelas y zonas de debilidad de los pliegues.

De acuerdo con Herrmann (2002) el contenido de W en las rocas calcosilicáticas es en general >100 ppm (muestréos sistemáticos de épocas de explotación dieron promedios de 0,6 % de WO_3); las anfibolitas de los distritos poseen hasta 6000 ppm de W, mientras que los gneises (rocas protosilicoclásticas) presentan los valores menores (< 400 ppm).

2.7. Transformaciones en los depósitos y manifestaciones de Cu (Au - Ag), Pb - Zn (Ag - Cu - Au) y Fe: Los metamorfismos $M_2 - M_3$ de la orogenia Pampeana determinaron la transformación de los sedimentos carbonáticos mineralizados de Cañada de Álvarez y Atos Pampa en calizas y dolomías cristalinas (mármoles), formándose calcita y dolomita junto con minerales silicáticos (cuarzo, diópsido, forsterita, flogopita, apatita, granate, moscovita y espinelo verde, entre otros) y grafito, que reflejan el contenido de impurezas arcillosas y carbonosas en los sedimentos carbonáticos. Los sedimentos silicoclásticos de las secuencias marinas de los tres metalotipos formaron los esquistos y gneises de composición cuarzo - feldespática - micácea de las rocas regionales. En las menas ferríferas de la Pampa de Pocho la presencia de turmalina y apatita se interpretan como productos metamórficos desarrollados a expensas del B y del P incorporados a la cuenca por el volcanismo submarino.

La deformación tectónica provocada por el dominio D_2 se registra en la elongación de los cuerpos mineralizados, formación de *boudins* y cadenas de sulfuros y óxidos recrystalizados, subparalelas a los planos de clivaje metamórfico S_2 , aunque la posterior acción famatiniana les sobreimpuso a gran parte de ellos nuevas transformaciones controladas por una dirección próxima al N - S.

Discusión y conclusiones

La ubicación temporal y espacial de las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero se vincula con la existencia del supercontinente Rodinia alrededor de los 1000 Ma, cuya fragmentación se inició aproximadamente a los 800 Ma con la separación de los continentes Gondwana Oriental y Occidental del continente dispersor Laurentia (Dalziel 1997; Moores *et al.* 2000). Gondwana Occidental se desagregó del supercontinente Rodinia como consecuencia de la apertura de varios rifts pericratónicos y la formación de los océanos Iapetus y Brasíldes, entre otros. El océano Iapetus o protoatlántico (Rankin 1975; Gair y Slack 1984) separó los cratones Río de la Plata, Amazonia y Báltica de Laurentia. De acuerdo con las reconstrucciones proporcionadas por Dalziel (1997),

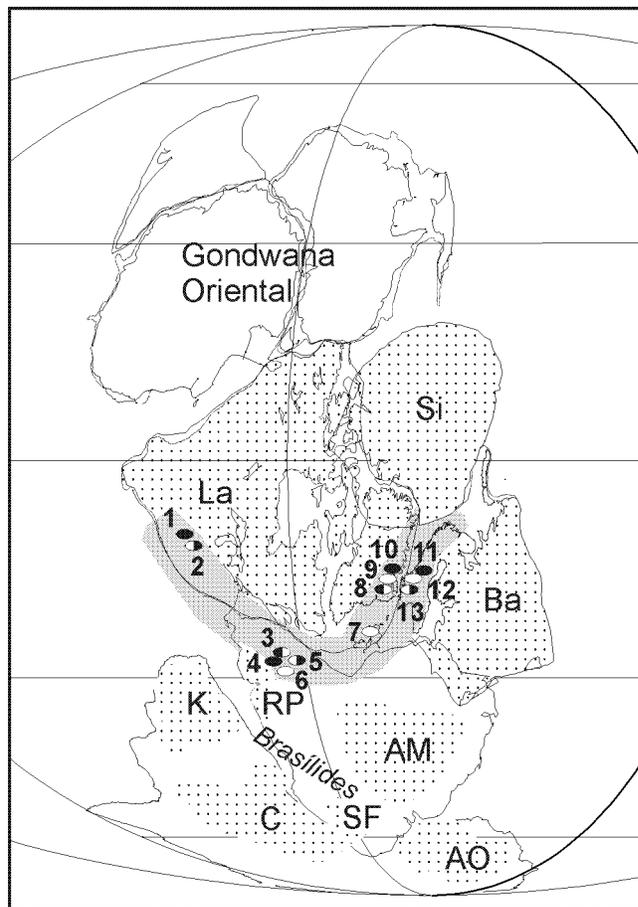


Figura 5. Ubicación de los principales distritos volcánogénicos submarinos, sedimentarios exhalativos y del tipo Valle del Mississippi, en el océano proto Atlántico neoproterozoico, sobre la reconstrucción global de Dalziel (1997) a los 725 Ma. Am: Amazonia; AO: África Occidental; C: Congo; K: Kalahari; RP: Río de la Plata; SF: Sao Francisco (constituyentes de Gondwana Occidental); Ba: Báltica; La: Laurentia; Si: Siberia. Símbolos en Fig. 3. Villa Rica - Stone Hill - Ducktown - Ore Knob - Gossan Lead, Estados Unidos (1); Villa Rica, Estados Unidos (2); El Morro, provincia de San Luis y Altautina - Ambul - Agua de Ramón - Pampa de Oláen, provincia de Córdoba, Argentina (3); Punilla - Santa María - Calamuchita, provincia de Córdoba, Argentina (4); La Escondida, provincia de San Luis - Pampa de Pocho, provincia de Córdoba, Argentina (5); Atos Pampa - Cañada de Álvarez, provincia de Córdoba, Argentina (6); Aberfeldy, Escocia (7); Eleonor Bay Group, Groenlandia (8), (9) y (10); Ramundberget - Sylarna, Suecia (11); Bleikvassli - Mofjellet, Noruega (12); Bogen - Dunderslandsal, Noruega (13).

los cratones Río de la Plata, Congo, Africa Oeste, Amazonia y San Francisco constituyeron los márgenes del océano Brasíldes (Fig. 5).

En este contexto tectónico de plataformas pasivas y cuencas marinas pericratónicas, se desarrolló en Gondwana Occidental una sedimentación mixta silicoclástica - carbonática en las plataformas, que graduó a silicoclástica predominante en taludes y cuencas junto con un volcanismo submarino de intraplaca que evolucionó hasta llegar a términos de basaltos MORB-N. La tectónica extensiva se produjo en gran parte del margen oeste sudamericano, involucrando el macizo de Arequipa en Perú, la Puna en el norte argentino y las Sierras

Pampeanas hasta su extremo sur. Durante este lapso, se desarrollaron en el ámbito del Protoatlántico yacimientos mayoritariamente de tipos VMS - SEDEX y MVT subordinados que se conservan en fajas desmembradas, relativamente estrechas, en los Apalaches (Estados Unidos), Escocia (Reino Unido), este de Groenlandia (Dinamarca), oeste de Escandinavia (Noruega y Suecia) y centro - este de San Luis (Argentina), y cuyas características descriptivas son equivalentes a las sintetizadas en este trabajo para los depósitos y manifestaciones metalíferas de Córdoba y sur de Santiago del Estero (Fig. 5). En tal sentido, se destacan para el Neoproterozoico los depósitos VMS pertenecientes en su mayor parte al grupo máfico - silicoclástico o de tipo Beshi, de acuerdo con la clasificación de Tucker Barrie y Hannington (1999). Son mantos alojados en secuencias de rocas volcánicas básicas y turbidíticas variablemente metamorfizadas y deformadas, con asociaciones predominantes de Cu - Fe - Zn (As - Pb - Au - Co - Ag), Cu - Fe (Zn) y Cu - Fe (Pb - Zn - Sb - Co) en el este de EE.UU. (Apalaches), Suecia y este de Groenlandia, respectivamente (Fig. 5). Entre los depósitos se destaca por su tonelaje (>1Mt) el distrito Ducktown (Tennessee), aunque las concentraciones de bajo tonelaje (<0,3 Mt) son mucho más frecuentes. Los ambientes de depositación corresponden a rifts pericratónicos, llegando a ser considerados los existentes en los Apalaches “cuencas de retroarco desarrolladas en una corteza continental atenuada” (Abraham y Mc Connell 1984), similar a lo interpretado para la región de Córdoba por Mutti et al. (1997). Vinculados espacial y genéticamente con el grupo VMS existen frecuentes manifestaciones volcanogénicas, mantiformes y bandeadas de Fe - Si (Mn - P), en Noruega (Greene et al. 1999) y sur de los Apalaches (Abraham y Mc Connell 1984) (Fig. 5). Además, fajas de depósitos de W (F - B - Zn - Sb - Mo - P) asociados a basaltos y calizas en una “secuencia litológica especial” (Brodtkorb y Brodtkorb 1999) se hallan en el centro-este de las sierras de San Luis (Argentina); calizas portadoras de W (Sb) han sido reconocidas en fajas de la costa este de Groenlandia (Stendal y Ghisler 1984) y manifestaciones de B (turmalinitas) en secuencias silicoclásticas exhalativas en Noruega y el sur de los Apalaches (Abraham y Mc Connell 1984) (Fig. 5). Desde las dorsales hacia las plataformas del océano proto-atlántico, los depósitos VMS neoproterozoicos pasan en ocasiones transicionalmente a depósitos SEDEX, integrados por asociaciones de Pb - Zn (As - Cu - Fe - Ag) como en el este de Groenlandia, Pb - Zn (Cu - Fe) en Noruega y a depósitos MVT de Ba - Zn (Fe - Pb - Cu) en Escocia (Coats et al. 1984).

A partir de la apertura y expansión del océano Iapetus o proto-atlántico en el Proterozoico tardío se presume la existencia de numerosos centros exhalativos volcanogénicos dispersores de elementos metálicos, dispuestos a modo de fajas discontinuas vinculadas con sitios sometidos a tracción y deformación por alargamiento y deslizamiento. En el caso de las Sierras Pampeanas de Córdoba, de acuerdo con la disposición espacial de los yacimientos y sus características metalogenéticas, existiría al menos un corredor principal integrado por dos fajas de rumbo NNO, que abarcan los megalineamientos Cruz del Eje - La Granja y Guasapampa - Ambul - Mussi - Santa Rosa (Figs. 1 y 3).

Para este período de evolución, el análisis geoquímico de los elementos traza en los metabasaltos mineralizados de Córdoba, sustenta la presencia de un manto heterogéneo enriquecido en elementos de bajo radio iónico afines con fluidos metasomáticos, que caracterizaron la existencia de plumas, superplumas y/o *hot spots* (Moore et al. 2000). La combinación de dichos fluidos con las soluciones acuosas que penetraron por el lecho marino hasta las cercanías de la interfase manto - corteza oceánica (incipiente), determinaron en la región de estudio la lixiviación de los basaltos y/o gabros y la incorporación de diversos elementos metálicos a las soluciones; Fe - Cu (Zn - Au - Co) se concentraron en los derrames básicos y en las rocas silicoclásticas adyacentes (turbiditas), mientras que W - B - P - F migraron a partir de los centros de exhalación, depositándose principalmente en la secuencia silicoclástica asociada con calizas y dolomías impuras (rocas calcosilicáticas). La capacidad de migración del Fe (Mn - P) en el ambiente marino pudo también favorecer su dispersión más allá de la fuente de aporte, tal como para constituir manifestaciones menores como las de la sierra de Guasapampa o su equivalente en San Luis. La presencia subeconómica de Au en los depósitos volcanogénicos de Córdoba, se debió probablemente al escaso volumen de roca básica que integró la secuencia silicoclástica (<10%), litotipo capaz de suministrar el metal precioso al fluido hidrotermal. Se presume que el Pb (Ag) de los depósitos transicionales tuvo como fuente de aporte predominante la corteza de la plataforma continental pasiva, lixiviada por la circulación de fluidos hidrotermales, mientras que el Zn derivó fundamentalmente de los centros exhalativos.

La evolución de las secuencias sedimentarias y volcánicas en torno a los márgenes pasivos del proto Atlántico, fue interrumpida en la región de Córdoba por la orogenia pampeana, como consecuencia de la colisión del terreno Pampia con el cratón Río de la Plata (Cámbrico temprano), mientras que hacia el nordeste del océano proto-atlántico (Fig. 5) prosiguieron su evolución por más de 100 Ma, hasta que las orogenias appalachiana y caledónica, determinaron su cierre en los Apalaches y Escandinavia, a partir del Silúrico tardío (Greene et al. 1999). Durante el Neoproterozoico tardío - Cámbrico temprano se produjo el cierre del océano Brasilides durante la orogenia brasiliana, que en su apertura y desarrollo originó también depósitos VMS neoproterozoicos en la región de Brasilia (Brasil), homologables a los considerados para el Iapetus. Estas sucesivas orogenias habrían dado paso a la configuración de Gondwana durante el Paleozoico temprano, y a un nuevo ciclo de formación de supercontinente (Pangea) durante el Paleozoico tardío.

La región de Córdoba y sur de Santiago del Estero se convirtió a partir de la orogenia pampeana en un margen activo asociado con un ambiente de arco tipo andino, el cual propició la formación de granitoides, anatexis y un metamorfismo colisional de mediano a alto grado, con desarrollo de cizallas dúctiles con vergencia occidental que rotaron en su rumbo desde E - O hasta NO - SE. Las fajas de deformación exhumaron tectonitas de manto portadoras de Cr (Fe - Ti) y gabros cumulares integrantes de la corteza proto oceánica con Fe - Ti. Estos litotipos y las estructuras prepampeanas asociadas indicarían una expansión lenta del piso oceánico,

tal como fue propuesto por Mutti y González Chiozza (2000). Durante este ciclo es notoria la ausencia de nuevos depósitos en las Sierras Pampeanas de Córdoba y sur de Santiago del Estero, con excepción de las manifestaciones tipo pórfiro de Cu y Mo en la sierra de Ambargasta, las pequeñas concentraciones de Fe - Ti en ultramafitas y mafitas del sur de Córdoba y la formación de pegmatitas portadoras de Be, Ta, Nb, Li y ETR en el suroeste de Córdoba, estas últimas relacionadas con la etapa póstuma de evolución del arco magmático pampeano.

La deformación dúctil y el metamorfismo pampeano sobreimpusieron cambios en la morfología de los depósitos (elongación, curvamiento y *boudinage*) y sobre las asociaciones de mena en sitios compresionales y en otros controlados por canales conductores de fluidos en zonas de cizalla (lineamientos NNO y ~E subordinado). El metamorfismo colisional progradante produjo reacciones de fases que propiciaron la liberación de H₂O y CO₂, proporcionando un ambiente con una alta relación interporal agua/roca y de fO₂. El agua interporal migró por difusión y/o infiltración y se desplazó controlada por la permeabilidad relativa de las rocas a través de estructuras mayores de rumbo NNO, determinando la removilización de las menas y su recristalización en fajas elongadas. Además, se generó en dichas fajas magnetita secundaria, que determinó la alta susceptibilidad magnética positiva local hallada en las rocas básicas y ultrabásicas serpentinizadas, según las foliaciones S2 y S3 de la orogenia pampeana.

El metamorfismo pampeano trajo aparejada una redistribución del Fe³⁺, con diferentes resultados dependiendo de la composición química original de las rocas y de su estado de oxidación. Las rocas ultrabásicas, originalmente paramagnéticas debido a que su espinelo primario era cromita, se volvieron fuertemente magnéticas debido a la liberación de Fe³⁺ de las olivinas y su incorporación en magnetita secundaria, en el proceso de serpentización. En las rocas básicas, el Fe³⁺ que originalmente se encontraba en magnetita, fue incorporado en la asociación ilmenita - hematita + magnetita ± rutilo; el producto metamórfico continúa siendo magnético, pero los nuevos minerales se orientan según las foliaciones S₂ y S₃ de la orogenia pampeana, generándose una fábrica fuertemente anisótropa. En términos generales, los gneises cordieríticos producto del metamorfismo pampeano incluyen magnetita metamórfica en su paragénesis, y son moderada a fuertemente magnéticos, originando anomalías magnéticas positivas.

Finalmente se destaca que el ciclo metalogenético prepampeano definió a través de los lineamientos NNO un dominio especializado en W, Fe, Mn, Cu, B, Au, Zn, Pb, Cr y Ti (Ag, Co, F) vinculado con rocas máficas - ultramáficas y calizas y dolomías impuras, y el ciclo pampeano sobreimpuso deformación dúctil y metamorfismo de mediano a alto grado.

Agradecimientos

Se desean agradecer las líneas de investigación aportadas por la Dra. Milka Brodtkorb, y la colaboración de la Universidad de Buenos Aires, quien financió esta investigación en el

marco de los proyectos UBACyT TX 51, AX 39, X 068 y X138.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Abrahams, C. y Mc Connell, C., 1984. Geological setting of volcanogenic base and precious metal deposits of the East Georgia Piedmont: A multiply deformed metavolcanic terrain. *Economic Geology*, 79: 1521-1539.
- Ametrano, S., 1997. Los yacimientos de tungsteno de la sierra de Altautina, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (inédito), La Plata.
- Ametrano, S., 1999. El Distrito scheelítico de la Sierra de Altautina, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 233-240, Buenos Aires.
- Bahamonde Alvarado, S., 2001. Geología y caracterización de las rodingitas de las minas "Resistencia - El Destino", distrito cromífero Cerro San Lorenzo, dpto. Calamuchita, provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 55 pp., Buenos Aires.
- Baldo, E., Saavedra, J., Rapela, C., Pankhurst, R., Casquet, C. y Galindo, C., 1999. Síntesis geocronológica de la evolución paleozoica inferior del borde sur occidental de Gondwana en las Sierras Pampeanas, Argentina. *Acta Geológica Hispana*, 32(1-2): 17-28.
- Bassi, H. y Valvano, J., 1947. Manifestaciones ferríferas de la Pampa de Pocho, Depto. Pocho, Prov. de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 4: 197-206.
- Bendayán, A., 1994. El complejo igneo - metamórfico diferenciado San Miguel, departamento Calamuchita, provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 125 p, Buenos Aires.
- Brea, C., 2002. La faja de mármoles skarnificada Cerro Azul, Departamento Calamuchita, Provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito) 66 pp., Buenos Aires.
- Brodtkorb, M. K. de y Brodtkorb, A., 1999. Yacimientos de scheelita asociados a anfibolitas y rocas calcosilicáticas, San Luis. En: Zappettini, E. (Ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 257-269, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M. K. de y Pezzutti, N., 1991. Yacimientos scheelíticos en rocas calcosilicáticas asociadas a anfibolitas, provincias de San Luis y Córdoba. En: Brodtkorb, M. K. de (Ed.) Geología de yacimientos de wolframio de las provincias de San Luis y Córdoba, Argentina, Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, 1: 169-194, La Plata.
- Brodtkorb, M. K. de, Hillar, S. y Ametrano, S., 1981. Manifestaciones de cobre presentes en canteras de caliza de la Cañada de Álvarez, Provincia de Córdoba. 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 851-861, San Luis.
- Castellote, P., 1985. Algunas observaciones geológicas en las Sierras de Ambargasta y Sumampa (Provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*, 16(2): 259-269.
- Chincarini, A., Martino, R. y Guerreschi, A., 1998. Origen alóctono del gabro del cerro San Lorenzo, sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(4): 435-444.
- Coats, J., Forty, N., Gallagher, M. y Grout, A., 1984. Stratiform barium enrichment in the Dalradian of Scotland. *Economic Geology*, 79: 1585-1595.
- Coira, B., Manca, N. y Chayle, W., 1990. Registros volcánicos en la Formación Puncoviscana. Instituto Miguel Lillo, Serie de Correlación Geológica, 4: 53-60, San Miguel de Tucumán.
- Dalla Salda, L., 1984. La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39(1-2): 38-52.

- Dalla Salda, L., Toselli, A., Caminos, R. y Gardini, C., 1999. Proterozoico y Paleozoico inferior de las Sierras Pampeanas Occidentales. En: Caminos R. (Ed.) Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 29: 159-167, Buenos Aires.
- Dalziel, I., 1997. Neoproterozoic - Paleozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculations. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 16-42.
- Di Marco, A., 2003. Metalogénesis de los depósitos de cobre-hierro y otros elementos metálicos asociados en anfíbolitas de las fajas central y oriental del centro sur de las sierras de Córdoba. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédita), 214 p.
- Di Marco, A. y Mutti, D., 1995. Los depósitos de Cu-Fe en anfíbolitas de la sierra sur de Córdoba, Argentina. 5º Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 174-180, San Juan.
- Di Marco, A. y Mutti, D., 1996. Los depósitos de Cu-Fe en anfíbolitas de la Sierra de Cunuputo, Córdoba. 3º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Actas 5: 311-316, La Plata.
- Durand, F., 1996. La transición Precámbrico - Cámbrico en el sur de Sudamérica. En: Baldi, B. y Aceñolaza, F. (Eds.): Early Paleozoic evolution in NW Gondwana, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica 12: 195-205.
- Economou - Eliopoulos, M., 2001. Geochemical constraints on the origin, geotectonic setting and exploration for chromite deposits in ophiolite complexes. En Piestrzyński, A. (Ed.): Mineral Deposits at the beginning of the 21st Century, 573-577, Balkema, Rotterdam.
- Einaudi, M., Meinert, L. y Newberry, R., 1981. Skarn Deposits. *Economic Geology* 75º Anniversary (1905 -1980): 317-391.
- Eremchuck, L., Mon, R. y Sosa Gómez, I., 1978. Observaciones sobre la estructura del basamento precámbrico de los Andes del norte de la República Argentina (entre los paralelos 22º y 28º lat. S). 7º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 203-212, Buenos Aires.
- Escayola, M., 1994. Faja ultramáfica de la Sierra Grande de Córdoba entre Inti - Yaco y Estancia San Miguel, Departamento Calamuchita, provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, (inédito), 300 p., Córdoba.
- Escayola, M., Ramé, G. y Kraemer, P., 1996. Caracterización y significado geotectónico de las fajas ultramáficas de las Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. 13º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 421-438, Buenos Aires.
- Evans, B. y Frost, B., 1975. Chrome - spinel in progressive metamorphism: A preliminary analysis. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 39: 959-972.
- Fantini, R., Gromet, P., Simpson, C. y Northrup, C., 1998. Timing of high - temperature metamorphism in the Sierras Pampeanas of Córdoba, Argentina: implications for Laurentia - Gondwana interactions. 10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 388-392, Buenos Aires.
- Fernández, S., 1993. Caracterización geológica del cuerpo ultramáfico de Atos Pampa y su mineralización espinelífera asociada, provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 75 p., Buenos Aires.
- Gair, J. y Slack, J., 1984. Deformation, geochemistry and origin of massive sulfide deposits Gossan Lead District, Virginia. *Economic Geology*, 79: 1483-1520.
- Galliski, M., 1994 a. La Provincia Pegmatítica Pampeana. I: Tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(1-2): 99-112.
- Galliski, M., 1994 b. La Provincia Pegmatítica Pampeana. II. Metalogénesis de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(1-2): 113-122.
- Galliski, M., 1999. Distrito Pegmatítico Alta Gracia, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 401-404, Buenos Aires.
- Gamba, M. T., 1999. Distrito scheelítico Pampa de Olaen, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 251-255, Buenos Aires.
- Gibson, G. e Ireland, T., 1996. Extension of Delamerian (Ross) orogen into western New Zealand: Evidence from zircon ages and implications of crustal growth along the Pacific margin of Gondwana. *Geology*, 24: 1087-1090.
- Goldfarb, R., Groves, D. y Gardoll, S., 2001. Orogenic gold and geological time: A global synthesis. *Ore Geological Review*, 18: 1-75.
- González, P., 2000. Banded Iron Formation del basamento Pre - Famatiniano de San Luis: Primer registro en Argentina. En: Schalamuk, I., Brodtkorb, M. y Etcheverry, R. (Eds.): Mineralogía y Metalogénia 2000, Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Publicación 6: 161-168, La Plata.
- González Chiozza, S., 1998. Metalogénesis y prospección geoquímica del Cerro Los Guanacos, Departamento de Calamuchita, Provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 104 pp., Buenos Aires.
- Gordillo, C., 1984. Migmatitas cordieríticas de las sierras de Córdoba: Condiciones físicas de la migmatización. *Miscelánea de la Academia Nacional de Ciencias*, 68: 1-40, Córdoba.
- Grenne, T., Ihlen, P. y Vokes, F., 1999. Scandinavian Caledonide metallogeny in a plate tectonic perspective. *Mineralium Deposita*, 34: 422-471.
- Groves, D., Goldfarb, R., Robert, F. y Hart, C., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, 98(1): 1-29.
- Guereschi, A. y Martino, R., 1998. Las migmatitas estromatíticas de Huerta Vieja, sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(1): 101-116.
- Guereschi, A. y Martino, R., 2002. Geotermobarometría de la paragénesis cuarzo - plagioclasa - biotita - sillimanita en gneises del sector centro - oriental de la sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(4): 365-375.
- Guereschi, A. y Martino, R., 2003. Trayectoria textural de las metamorfitas del sector centro - oriental de la sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58(1): 49-60.
- Haller, M., 1986. Preliminary metallogenetic map of the ophiolites in Argentina. In: Metallogeny of basic and ultrabasic rocks, Theophrastus Publications, 93-97.
- Hannington, D., Poulsen, H., Thompson, J. y Sillitoe, R., 1999. Volcanogenic gold in the massive sulfide environment. En: Tucker Barrie, C. and Hannington, M. (eds.): Volcanic associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings. *Reviews in Economic Geology*, 8: 325-356.
- Herrmann, C., 1999. Los yacimientos de wolframio de la región de Ambul, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 247-250, Buenos Aires.
- Herrmann, C., 2002. Estudio geológico del distrito wolframífero Ambul, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 250 p., Buenos Aires.
- Kilmurray, J. y Dalla Salda, L., 1971. Las fases de deformación y metamorfismo en la Sierra de Maza, Prov. de La Rioja, Rep. Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 26(2): 245-263.
- Kraemer, P., Escayola, M. y Martino, R., 1995. Hipótesis sobre la evolución neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba, 30º 40' - 32º 40' sur, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50 (1-4): 47-59.
- Lagorio, S., 2003. El volcanismo alcalino cretácico de la sierra Chica de Córdoba: geoquímica, petrogénesis y su relación con provincias volcánicas del sector centro-oriental de Sudamérica. Tesis Docto-

- ral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédito), Buenos Aires.
- Laznicka, P., 1999. Quantitative relationships among giants deposits of metals. *Economic Geology*, 94(4): 455-473.
- Leach, D., Bradley, D., Lewchuk, M., Symons, D., De Marsily, G. y Brannon, J., 2001. Mississippi Valley - type lead - zinc deposits through geological time: implications from recent age - dating research. *Mineralium Deposita*, 36(8): 711-740.
- Leal, P., 2002. Estudio metalogénico de los yacimientos de manganeso del Departamento de Sobremonte, Provincia de Córdoba, Sierras Pampeanas Orientales. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 150 p., La Plata.
- Le Roux, D., Bonalumi, A. y Sfragulla, J., 1995. Ortoanfibolitas titaníferas de Atos Pampa, departamento Calamuchita, provincia de Córdoba. Encuentro Internacional de Minería, SEGEMAR, Actas: 164-167, Buenos Aires.
- Linares, E., 1959. Los métodos geocronológicos y algunas edades de minerales de la Argentina, obtenidos por medio de la relación uranio - plomo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 14(3-4): 181-217.
- Linares, E. y González, R., 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina 1957 - 1987. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria, 19, 628 p., Buenos Aires.
- Lira, R., Millone, H., Kirschbaum, A. y Moreno, R., 1996. Granitoides calcoalcalinos de arco magmático en la sierra Norte de Córdoba. 13º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 497.
- Lira, R., Millone, H., Kirschbaum, A. y Moreno, R., 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(2): 157-177.
- Loferski, P. y Lipin, B., 1983. Exsolution in metamorphosed chromite from the Red Lodged district, Montana. *American Mineralogist*, 11: 930-990.
- Martino, R., 1993. La faja de deformación "Guamanes": petrografía, estructura interna y significado tectónico. Sierra Grande de Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48(1): 21-32.
- Martino, R., Guerreschi, A. y Sfragulla, J., 2003. Petrografía, estructura y significado tectónico de la Faja de Deformación Los Túneles en las sierras de Pocho y Guasapampa, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58(2): 233-247.
- Massabie, A., Mutti, D. y Nestiero, O., 2002. Edad, afinidades geoquímicas y tectónicas del pórfido riolítico de La Lidia, Sierra de Ambargasta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(1): 80-84.
- Miller, H., Aceñolaza, F. y Toselli, A., 1978. Reseña estructural de la sierra de Ancasti. *Acta Geológica Lilloana*, 15: 31-39, Tucumán.
- Miró, C., 2001. Hoja geológica 2963-3 Villa Ojo de Agua, provincias de Santiago del Estero y Córdoba, 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Boletín 315, 17 p. Buenos Aires.
- Moore, B. y Dennen, W., 1970. A geochemical trend in silicon-aluminium-iron ratios and the classification of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 1147-1152.
- Moore, E., Kellog, K. y Dilek, Y., 2000. Tethyan ophiolites, mantle convection and "tectonic contingency": A resolution of the "ophiolite conundrum". *Geological Society of America Special Paper*, 349: 3-12.
- Mutti, D., 1987. Estudio geológico del complejo Gabro - Peridotítico del área de Bosque Alegre, provincia de Córdoba. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 398 p., Buenos Aires.
- Mutti, D., 1992. Las rocas ultrabásicas de la prov. de Córdoba: Interpretaciones geoquímicas e implicancias geotectónicas. 1º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Actas 2: 433-448, La Plata.
- Mutti, D., 1994 a. Exsoluciones en cromitas metamórficas de Córdoba: Interpretaciones geoquímicas e implicancias geotectónicas. 2º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Actas 2: 433-448, La Plata.
- Mutti, D., 1994 b. Los cromoespinelos del centro - sur de las sierras de Córdoba: metalogénesis e implicancias geotectónicas. 2º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Actas 2: 545 - 570, La Plata.
- Mutti, D., 1995. The chromian spinels from Córdoba, Argentina. En: Pasava, Kribeck y Zak (Eds.) *Mineralium Deposita: From their origin to their environmental impacts*, 165 -168 . Balkema, Rotterdam.
- Mutti, D., 1997. La secuencia ofiolítica basal desmembrada de las sierras de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52: 209-218.
- Mutti, D., 1998. Rocas de arco en el distrito Cerro San Lorenzo, provincia de Córdoba. 4º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de Rocas Máficas y Ultramáficas: Actas 291-299, Bahía Blanca.
- Mutti, D., 1999. Depósitos de cromitas de Córdoba. En: Zappettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 193-206, Buenos Aires.
- Mutti, D. y Di Marco, A., 1996. Los depósitos de Pb-Zn (Cu-Ag) del Distrito Athos Pampa, Provincia de Córdoba. Actas 13º Congreso Geológico Argentino, 3: 101-115, Buenos Aires.
- Mutti, D. y Di Marco, A., 1999. Yacimientos de cobre-hierro y plomo-cinc relacionados a volcanismo submarino, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 207-225, Buenos Aires.
- Mutti, D. y González Chiozza, S., 2000. The proterozoic ophiolite of eastern Sierras Pampeanas, Argentina, their evolution. Abstracts 31º International Geological Congress, en CD. Río de Janeiro.
- Mutti, D. y González Chiozza, S., 2003. Evolución petrotectónica del distrito minero Cerro Áspero y modelo de emplazamiento en los depósitos wolframíferos, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (enviado).
- Mutti, D., Di Marco, A. y Fernández, S., 1997. Neoproterozoic metallogenesis of the central-south Sierras Pampeanas de Córdoba. En: Papunen (Ed.) *Mineralium Deposita: Research and exploration, where do they meet?*, 863-876. Balkema, Finland.
- Mutti, D., Di Marco, A y Fernández, S., 1998. Ore deposits in the Neoproterozoic arc-backarc system of the central-south Sierras de Córdoba, Argentina. 6º Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: 81-87, Buenos Aires.
- Mutti, D., Di Marco, A., González Chiozza, S. y Méndez, C., 2001. The proterozoic orthoanfibolite belts from the southern Sierras Pampeanas de Córdoba: ore deposits and metallogenic evolution proposal. Actas 11º Simposio de Geología de Minas Gerais, en CD. Brasil.
- Omarini, R. y Sureda, R., 1993. Evolución geodinámica y configuración paleogeográfica en los Andes Centrales del Proterozoico superior al Paleozoico inferior: modelos alternativas y problemas. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 291-307, Mendoza.
- Pankhurst, R. y Rapela, C., 1998. The proto - Andean margin of Gondwana: An introduction. In: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.) *The proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London Special Publications, 142:1-9.
- Pugliese, L., 1994. Prospección geoquímica y génesis del complejo máfico ultramáfico estratificado del cerro La Cocha, sierra Chica de Córdoba. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), Córdoba.
- Pugliese, L. y Villar, L., 2002. Aspectos petrológicos y geoquímicos del complejo máfico - ultramáfico estratificado del cerro La Cocha, provincia de Córdoba, Argentina. 6º Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 353-360, Buenos Aires.
- Ramos, V., Escayola, M., Mutti, D. y Vujovich, G., 2000. Proterozoic - early Paleozoic ophiolites of the Andean basement of southern South America. *Geological Society of America Special Paper*, 349:

- 331-349.
- Rankin, D., 1975. The continental margin of eastern North America in the southern Appalachians: The opening of the proto-Atlantic Ocean. *American Journal of Science*, 275-A: 298-336.
- Rapela, C., 2000. The Sierras Pampeanas of Argentina: Paleozoic building of the southern Proto-Andes. *Tectonic Evolution of South America*, 381-387, Río de Janeiro.
- Rapela, C., Coira, B., Toselli, A. y Saavedra, J., 1992. El magmatismo del Paleozoico inferior en el sudoeste de Gondwana. En: Saavedra, L. y Marco, C. (eds.): *Paleozoico inferior de Ibero-América*, 21-68.
- Rapela, C., Pankhurst, R., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C., 1998. The Pampean orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. In: Pankhurst, R. and Rapela, C. (eds.) *The proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publications, 142: 181-217.
- Rapela, C., Coira, B., Toselli, A. y Llambías, E., 1999. Sistema Famatiniano de las Sierras Pampeanas y magmatismo Eopaleozoico de las Sierras Pampeanas, de la cordillera Oriental y la Puna. En: Caminos R. (Ed.): *Geología Argentina* Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 29: 145-157, Buenos Aires.
- Schalamuk, I., Dalla Salda, L., Angelelli, V., Fernández, R. y Etcheverry, R., 1980. Mineralización y petrología del área de Las Cañadas, dpto. El Alto, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 11(3-4): 1-26.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R., Stuart - Smith, P. y Miró, R., 1998. U - Pb, Th - Pb and Ar - Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R. and Rapela, C. (eds.) *The proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publications, 142: 259-261.
- Sosa, M., 2001. Geología y caracterización evolutiva del distrito cromífero Cerro San Lorenzo, provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 74 pp., Buenos Aires.
- Spear, F., 1995. *Metamorphic phase equilibria and pressure - temperature - time paths*. Mineralogical Society of America, Monograph, 799 p., Washington.
- Stendal, H. y Ghisler, M., 1984. Strata-bound copper sulfide and nonstrata-bound arsenopyrite and base metal mineralization in the Caledonides of East Greenland - A Review. *Economic Geology*, 79: 1574-1584.
- Suita, M. y Strieder, A., 1996. Cr - spinels from Brazilian mafic - ultramafic complexes: Metamorphic modifications. *International Geology Reviews*, 38: 245-267.
- Tourn, S., 1999. Los yacimientos de wolframio de Agua de Ramón, Córdoba. En: Zappettini, E. (Ed.): *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 585-590, Buenos Aires.
- Tourn, S., 2000. Estudio geológico del distrito wolframífero Agua de Ramón, departamento Minas, provincia de Córdoba. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 337 p., Buenos Aires.
- Tucker Barrie, C. y Hannington, M., 1999. Classification of volcanic associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. En: Tucker Barrie, C. y Hannington, M. (eds.): *Volcanic associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings*. *Reviews in Economic Geology*, 8: 1-11.
- Villar, L., 1985. Las fajas ultrabásicas argentinas, tipo de ultrabásita, metalogenia. 4º Congreso Geológico Chileno, Actas: 610-633.
- Wood, D., 1980. The application of a Th - Hf - Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11-30.
- Zappettini, E. (ed.), 1999. *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35, 2172 p., Buenos Aires.

Recibido: 3/02/04

Aceptado: 15/08/04