

Análisis estructural del sistema vetiforme Farallón Negro-Alto De La Blenda, Catamarca

Matías S. WERNERT¹, Juan M. GARCÍA¹, J.M. y Diana I. MUTTI¹

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

E-mail: Mswernert11@gmail.com

Editores invitados: Mariano Larrovere, Pablo Alasino y Sebastián Rocher

RESUMEN

El yacimiento epitermal Farallón Negro - Alto de la Blenda, datado en aproximadamente 5,5 Ma, pertenece al distrito minero Agua de Dionisio, ubicado en la provincia geológica Sierras Pampeanas. Se trata de cuerpos vetiformes, brechas y *stockworks* constituidos por sílice, carbonato (Ca - Mn) y óxidos de Mn con sulfuros de metales base y minerales preciosos. El arreglo vetiforme, de rumbo promedio NO-SE (305°), constituiría una estructura tipo *mesh*, entramado estructural aprovechado por la inyección de fluidos hidrotermales, que habría propiciado el espacio para la generación de *jogs* de dilatación y precipitación mineral con posterioridad a la cristalización de las rocas ígneas del distrito. Este diseño estructural sería compatible con un sistema de cizalla simple tipo Riedel transtensivo dextral, reconocido a partir de la medición de 1243 datos tomados en campo de estructuras de la comarca y microestructuras, en el que se define una zona de cizalla de dirección 290° y un esfuerzo σ_1 ubicado en el azimut 335°. La geometría tipo *mesh* posee un control de juegos de cizallas menores (desde R hasta Y) y el de anisotropías estructurales previas del terreno, que en conjunto definen *gashes* en *echelón*. El cizallamiento, de orientación coincidente con el megalineamiento de Culampajá (NO-SE), habría actuado desde aproximadamente 7,5 Ma, ejerciendo el control estructural de la etapa final de mineralización de la comarca.

Palabras clave: Distrito Minero Agua de Dionisio, faja de cizalla simple, epitermal, modelo cinemático.

ABSTRACT

Structural analysis of the Farallón Negro-Alto de la Blenda vein system, Catamarca.

The Farallón Negro – Alto de la Blenda epithermal ore deposit, dated at approximately 5.5 Ma, belongs to the Agua de Dionisio Mining District, located in the Sierras Pampeanas geological province. Ore bodies include veins, breccias and stockworks, constituted essentially by silica, carbonate (Ca - Mn) and Mn oxides alongside base metals sulphides and precious minerals. The vetiform arrangement has an average NW-SE (305°) orientation, which would constitute a mesh type structure. This framework allowed the injection of hydrothermal fluids, which would have propitiated the space for the generation of dilational jogs and mineral precipitation after the crystallization of the district's various igneous rocks. This structural arrangement responds to a transtensive dextral simple shear Riedel system type, supported by the measurement of 1243 structural measurements of the region and microstructures, defining a shear zone direction of 290°, which main stress (σ_1) is located along 335°. The mesh-type geometry is controlled by minor shear belts (from R to Y) and previous structural anisotropies that together define gashes in echelon. The shear belt coincides in direction with the Culampajá megalinament (NW-SE) and would have worked approximately 7.5 Ma ago, configuring the structural control for the later stages of the district's mineralization

Keywords: Agua de Dionisio Mining District, simple shear zone, epithermal, kinetic model

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Farallón Negro-Alto de la Blenda (Fig. 1) es un depósito epitermal de sulfuración intermedia a baja (Gutiérrez *et al.* 2006, Martínez *et al.* 2014, Már-

quez-Zavalía y Heinrich 2016) que presenta mena auro-argentífera desarrollada en cuerpos vetiformes con predominio de relleno silíceo, carbonático mangano-calcítico y óxidos e hidróxidos de Mn, acompañando de forma subordinada sulfuros y

sulfosales de metales base (Pb, Zn y Cu entre otros).

El yacimiento es explotado desde la década del 70 y se ubica en el sector centro-este de la provincia de Catamarca, en el ámbito de las Sierras Pampeanas

y forma parte del distrito minero Agua de Dionisio. Este último se caracteriza por su importancia en manifestaciones hidrotermales, entre las que se incluyen depósitos tipo pórfiro Cu-Au-(Mo), como Bajo de la Alumbra y epitermales vetiformes, como el sistema Farallón Negro-Alto de la Blenda estudiado en este trabajo. La mineralización se aloja en rocas volcánicas e hipabisales correspondientes al Complejo volcánico Farallón Negro (Llambías 1970). Las vetas que integran Farallón Negro-Alto de la Blenda se disponen predominantemente con rumbo NO, aunque frecuentemente se desarrollan en sentido N-S de forma localizada, en sectores que alcanzan hasta los 50 m de corrida. Asimismo, la roca de caja que acompaña los cuerpos mineralizados evidencia deformación por cizalla. Dichas orientaciones destacadas serían el resultado de diversos eventos de deformación que actuaron en la región, los cuales a su vez controlaron la disposición del sistema epitermal analizado. Sobre la base de análisis de mediciones estructurales en campo, imágenes satelitales y estudios microtectónicos, se llevó a cabo la caracterización estructural de la mena vetiforme del depósito, al igual que se vincula su génesis con diversos eventos tectónicos que afectaron al distrito.

MARCO GEOLÓGICO

Estratigrafía

Las rocas más antiguas de la comarca corresponden al basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica-eopaleozoica aflorantes en las sierras del Durazno, Aconquija, Belén y cerro Bola del Atajo (Fig. 1). Dichas litologías incluyen metamorfitas de bajo grado de la Formación Suncho (Mirr y Aceñolaza 1972, Aceñolaza y Aceñolaza 2005) y granitoides del Batolito Capillitas (González Bonorino 1950, Toselli *et al.* 2005). Le siguen en la columna estratigráfica las rocas sedimentarias continentales miocenas de la Formación Morterito (Turner 1962), las cuales afloran en el flanco oeste de la sierra del Durazno.

La unidad estratigráfica más prominente del distrito minero Agua de Dionisio es el Complejo volcánico Farallón Negro (Fig. 2), el cual se emplazó en una zona



Figura 1. Ubicación del distrito minero Agua de Dionisio y sus serranías periféricas. En línea magenta punteada se indica el límite propuesto por Llambías (1970) para la paleocaldera del estratovolcán mioceno Farallón Negro. Con cuadrados rojos se señalan los yacimientos Farallón Negro-Alto de la Blenda y Bajo de la Alumbra.

deprimida del basamento según Llambías (1970 y 1972), y cuyos afloramientos constituyen al estratovolcán mioceno Farallón Negro propuesto en Llambías (1970), actualmente erosionado unos 2,5 km aproximadamente. Las rocas más antiguas del complejo son de composición básica, mientras que las unidades más recientes evolucionaron hacia un quimismo ácido en un marco temporal que abarca desde los $12,56 \pm 0,36$ Ma hasta los 5,95 Ma (Sasso 1997).

Llambías (1970) y Sasso (1997) estudiaron las relaciones estratigráficas de las litologías que constituyen al complejo y señalan que las unidades más antiguas corresponden a las facies extrusivas asignada a la Andesita Brecha Morada Central y Polimíctica (Fig. 2). Asimismo, Sasso (1997) y Halter *et al.* (2005) llevaron a cabo dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblendas y biotitas de las unidades intrusivas e hipabisales, precisando edades entre los $8,56 \pm 0,48$ Ma y $6,78 \pm 0,15$ millones de años.

De acuerdo con Sasso (1997) y Halter *et al.* (2005), la actividad principal del estratovolcán finalizó con el emplazamiento de la Monzonita Alto de la Blenda entre los 7,5 y 7,02 Ma (Fig. 2), aunque destacan la intrusión posterior de cuerpos dacíticos y riolíticos menores, incluyendo los sistemas porfíricos Agua Tapada (7,35 Ma), Bajo las Pampitas (7,2 Ma) y Bajo de la Alumbra (7,1-6,7 Ma). Según los autores citados, estos últimos cuerpos evidencian el inicio de la actividad hidrotermal que afectó al

Complejo volcánico Farallón Negro. Asimismo, en base a dataciones de rocas con alteración filica, Sasso (1997) y Sasso y Clark (1999) indican que el hidrotermalismo persistió hasta hace aproximadamente 5,5 Ma, finalizando durante esa etapa con la génesis del sistema epitermal del distrito, que incluye el yacimiento Farallón Negro-Alto de la Blenda.

La mineralización vetiforme se aloja principalmente en la Monzonita Alto de la Blenda, aunque una porción menor se ubica en la Andesita Brecha Morada Central (Fig. 2). Los cuerpos mineralizados poseen potencias variables entre 1 a 18 m, entre los que se incluyen las vetas Farallón Negro, Alto de la Blenda, Farallón Negro Rama Norte, Esperanza, Esperanza SE, Encuentro y otras de menor desarrollo (Fig. 3). Estas vetas presentan relleno constituido principalmente por bandas coliformes de sílice, carbonatos mangano-calcícos y óxidos e hidróxidos de Mn, acompañando de forma subordinada por pirita, calcopirita, galena, esfalerita, tetraedrita-tenantita, jalpaita, alabandita, entre otros, y los minerales de mena auro-argentíferos (Malvicini y Llambías 1963, Salado Paz *et al.* 2011, Martínez *et al.* 2014, Márquez-Zavala y Heinrich 2016, García 2018 y Wernert 2018). Las vetas conforman un diseño sigmoide a escalonado con rumbo general NO, coincidiendo en su dirección con fallas locales, regionales y parte de los enjambres de diques de basaltos, basalto-andesita y andesitas que inician su historia de emplazamiento a los 7,94 Ma y alcanzan hasta

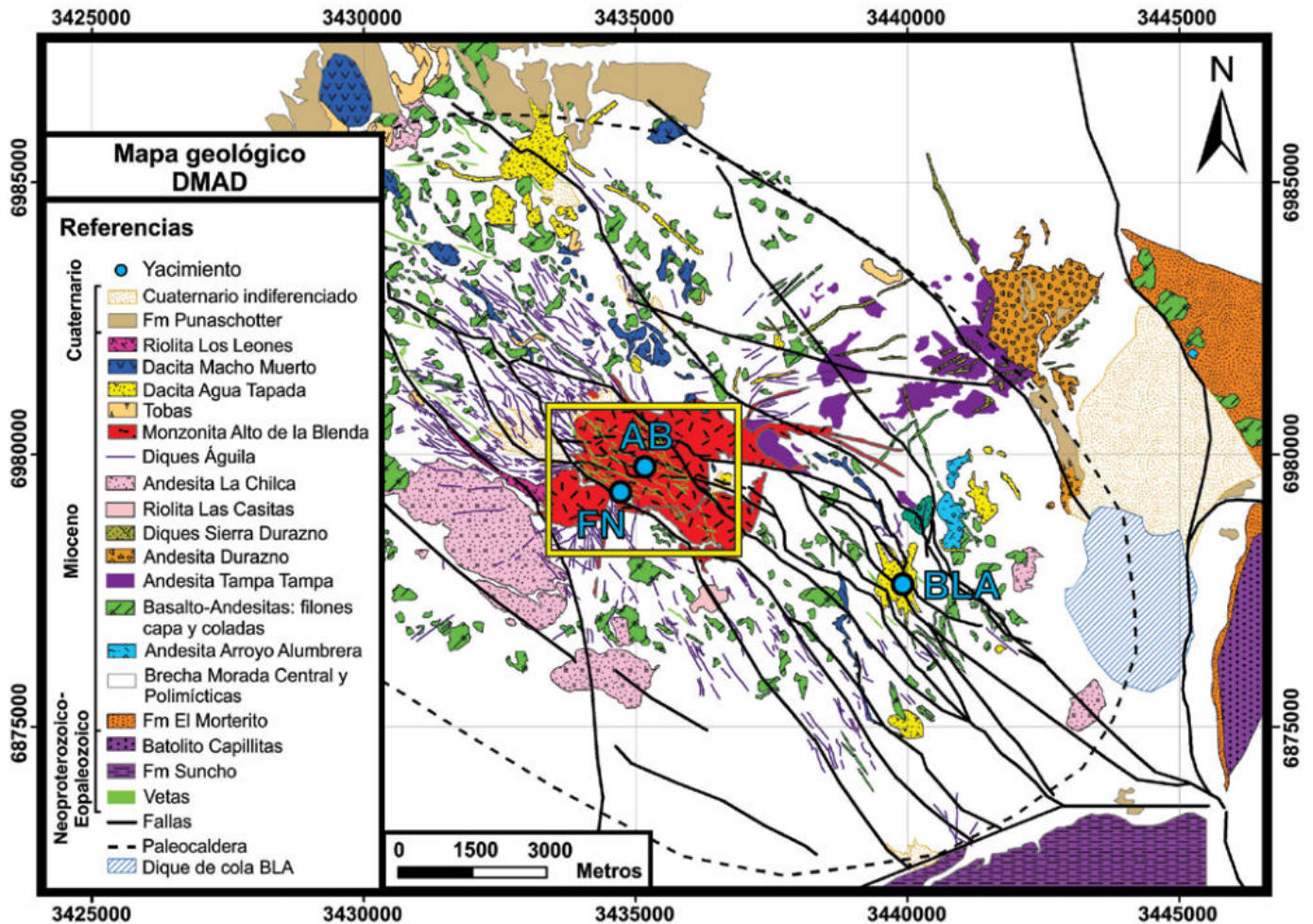


Figura 2. Mapa geológico del distrito minero Agua de Dionisio. Referencias: AB (Alto de la Blenda), BLA (Bajo de la Alumbreira) y FN (Farallón Negro). En el recuadro amarillo se destaca la zona principal de este trabajo. Tomado de García (2018), modificado a partir de Llambías (1970).

los 6,30 Ma (Llambías 1970, Sasso 1997). En los cerros periféricos al distrito minero Agua de Dionisio se encuentran las unidades más modernas de la comarca, incluyendo los conglomerados de la Formación Punaschotter (Allmendinger 1986) y depósitos cuaternarios (Fig. 2).

Marco geotectónico

Si bien el distrito minero Agua de Dionisio se ubica en el sector boreal de la Sierras Pampeanas, dada su proximidad con la Puna, posee rasgos estructurales afines con esta última provincia geológica. La subducción de la placa de Nazca debajo del continente sudamericano, a partir del Mioceno y hasta la actualidad, controló el régimen tectónico de la región con estructuras de orientación N-S, NO-SE y NE-SO a E-O, como las fallas Ampujaco, Vizcachas, Ron, Águila, Agua de la Chilca, Buenaventura, Aconquija, Capillitas y Atajo,

entre otras (Fig. 4; Mon 1976, Allmendinger *et al.* 1982 y 1983, Jordan *et al.* 1983, Salfity 1985, Rossello *et al.* 1996, Urreiztieta *et al.* 1996, Sasso 1997, Rossello 2000). Hacia el N, a partir del Mioceno, se desarrolló el alzamiento de la Puna, proceso que involucró a través de dominios compresivos también la reactivación de antiguas anisotropías (Allmendinger *et al.* 1982 y 1983, Salfity 1985, Allmendinger 1986, Urreiztieta *et al.* 1996), como las direcciones N-S y NE-SO producto de la deformación famatiniana (cambro-ordovícicos, Rapela *et al.* 1999). Esta deformación, iniciada hace 12,6 Ma, propició la apertura de una cuenca de *pull-apart* con un estiramiento NE-SO y el emplazamiento del estratovolcán Farallón Negro, junto con las unidades más antiguas del Complejo volcánico Farallón Negro (Sasso 1997, Sasso y Clark 1999). Al respecto, las relaciones angulares entre

la placa de Nazca y el continente sudamericano variaron latitudinalmente (Barazangi e Isacks 1976), y derivaron en el control de distintos dominios estructurales entre los que se incluye el corredor transcurren-te del Lineamiento Tucumán (Mon 1976) o zona de transferencia de Tucumán (Urreiztieta *et al.* 1993 y 1996, Rossello *et al.* 1996, Rossello 2000) de rumbo NE, 100 km de ancho y 350 km de largo (Fig. 5). Este corredor correspondería a una antigua megaestructura preandina reactivada durante el Mioceno (Mon 1976) que, de acuerdo con Rossello *et al.* (1996), imprimió en la comarca deformación de piel gruesa mediante transpresión dextral a partir del alzamiento en *echelón* de bloques de basamento. La elipticidad del yacimiento Bajo de la Alumbreira es considerada por dichos investigadores como producto del control sin y postectónico de la zona de transferencia de Tucumán con

respecto al emplazamiento del pórfiro, por lo que la forma del depósito fue interpretada como un megamarcador pasivo de la megaestructura.

Existen también megaestructuras de dirección NO-SE que atraviesan el noroeste argentino. Chernicoff *et al.* (2002), Jones y Martínez (2007) y Sureda *et al.* (2009) mencionan los lineamientos Calama-Olapato-Toro, Archibarca, Culampajá, Ojos del Salado y Valle Fértil-Desaguadero (Fig. 5), los cuales habrían sido reactivados en episodios sucesivos, albergando y focalizando eventos magmáticos intrusivos y mineralizaciones porfíricas y epitermales. Las evidencias geocronológicas provistas por Halter *et al.* (2005) avalan una primera etapa de emplazamiento de *stocks* subvolcánicos en el distrito minero Agua de Dionisio con edades de cristalización entre los 9,0 y 7,5 Ma, los cuales se disponen según una orientación ENE-OSO a NE-SO, representados por los cuerpos de Tampa Tampa, Bajo el Durazno, Andesita La Chilca y la Monzonita Alto de la Blenda (Fig. 2), ubicándose esta última en el centro de la caldera, según postulan Llambías (1972) y Sasso (1997). La segunda etapa de actividad magmática, comprendida entre los 7,5 Ma y 6,0 Ma, es integrada de NO a SE por las dacitas Loma Morada, Agua Tapada, Morro Amarillo, Macho Muerto, Los Pozos, Tobogán, Las Pampitas, Bajo la Alumbra (a partir del pórfido P2 identificado por Proffett 2003), El Espanto y Bajo San Lucas, todas ellas ubicadas dentro de una lineación NO-SE a ONO-ESE. Es común que cada *stock* esté compuesto por uno a ocho intrusiones emplazadas en un tiempo restringido, y tal como proponen Sasso y Clark (1999), Halter *et al.* (2005) y García (2018), un cambio en el régimen tectónico debió ocurrir entre ambas etapas de actividad magmática.

Sasso (1997) y Sasso y Clark (1999) interpretan el origen del magmatismo del Complejo volcánico Farallón Negro como consecuencia de la dinámica de subducción en la zona, y postulan que la horizontalización de la placa confirió estrés a la losa oceánica mediante mecanismos de torsión y extensión, generando desgarros o *tearing* transversales en la misma. Este proceso facilitaría el ascenso de flujos calóricos y fundidos astenosféricos, desvolatilizando a la losa y rocas corticales, propiciando su

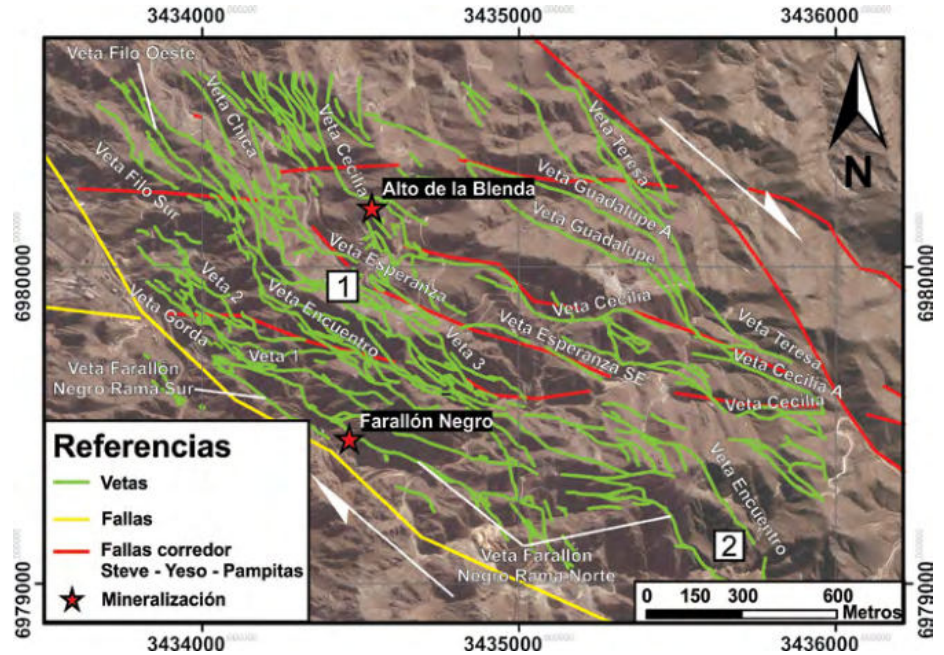


Figura 3. Mapa de detalle del entramado vetiforme del yacimiento Farallón Negro-Alto de la Blenda y las fallas que lo delimitan. (1) Área de muestreo de Veta Esperanza SE. (2) Área de muestreo de Veta Farallón Negro Rama Norte y Veta Encuentro.

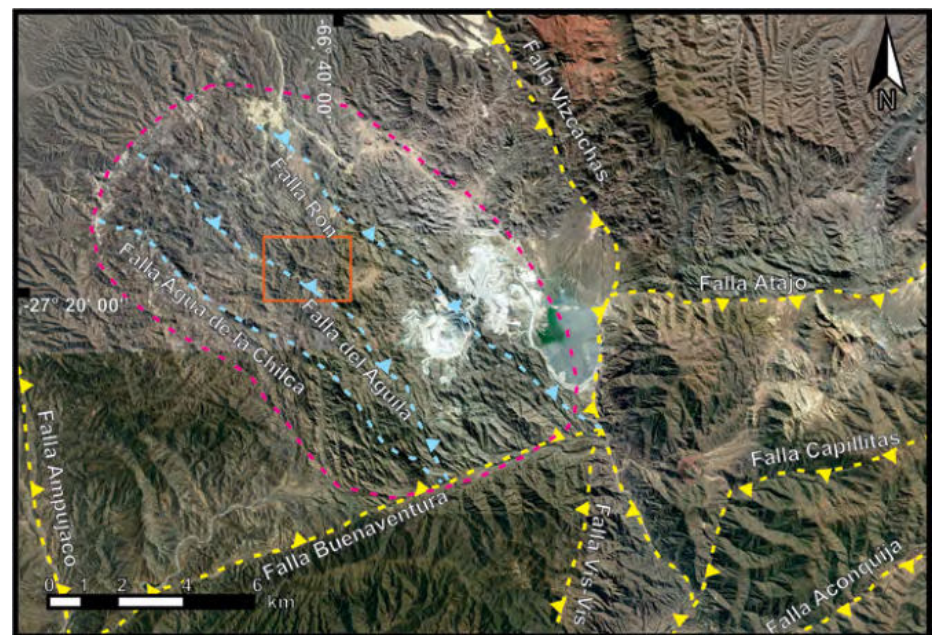


Figura 4. Fallas principales de la región (amarillo), en la que se destaca al corredor estructural NO-SE (celeste) delimitado por la falla Ron al NE y la falla Agua de la Chilca al SO y en donde se concentran la mayoría de las áreas mineralizadas conocidas. En recuadro naranja se señala el área correspondiente a Farallón Negro-Alto de la Blenda.

fusión y originando así los magmas responsables del vulcanismo del distrito.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para caracterizar estructuralmente al de-

pósito Farallón Negro-Alto de la Blenda y definir a partir de ello una propuesta del modelo cinemático que vincule las anisotropías existentes con las diferentes macroestructuras y microestructuras de la región, se llevó a cabo un análisis estadístico de los lineamientos presentes en el depósito, incluidas fallas, diaclasas y es-

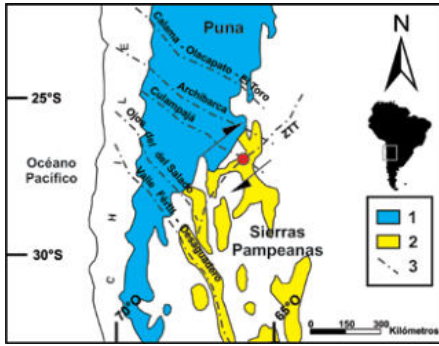


Figura 5. Esquema de los megalineamientos regionales NO-SE (Calama-Olacapato-El Toro, Archibarca, Culampajá, Ojos del Salado y Valle Fértil-Desaguadero) y el corredor NE-SO de la zona de transferencia de Tucumán que afectan a la comarca y las provincias geológicas de Sierras Pampeanas y Puna. Referencias: En círculo rojo se señala al yacimiento Farallón Negro-Alto de la Blenda. (1) Sectores con topografía superior a 4.000 metros. (2) Principales sistemas serranos de Sierras Pampeanas. (3) Lineamientos. Modificado de Rossello (2000) a partir de Salfity (1985).

estructuras mineralizadas. Su identificación fue abordada a partir de mediciones de rumbos e inclinaciones mediante brújula geológica y muestreo de rocas mediante el empleo de geoposicionador satelital (GPS) en superficie y en diferentes niveles de interior mina, al igual que interpretación de imágenes satelitales del distrito minero Agua de Dionisio con el programa informático QGIS.

El muestreo estructural de campo incluye mediciones de orientación e inclinación de las de las vetas y vetillas que conforman el yacimiento Farallón Negro-Alto de la Blenda, y se llevó a cabo en dos áreas del depósito. La primera corresponde al sector central del yacimiento, donde se obtuvieron un total de 659 mediciones de rumbo e inclinación en estructuras mineralizadas, tales como Veta Cecilia, Veta Esperanza, Veta Esperanza SE y Veta Encuentro, así como otros cuerpos mineralizados de menor potencia en superficie y en interior mina a diferentes niveles de profundidad (Fig. 3: área 1 y su entorno). La segunda área se ubica hacia los sectores australes del depósito, donde se tomó un total de 447 actitudes correspondientes a vetas portadoras de mena, tales como Veta Farallón Negro Rama Norte y Veta Encuentro, así como otras de menor potencia (Fig. 3: área 2 y su entorno).

Los resultados obtenidos fueron complementados con el análisis microtectónico de muestras de vetas y sus brechas asociadas mediante lupa y microscopio óptico.

El objetivo fue ahondar en la textura de los ejemplares y seleccionar especímenes representativos que contribuyan al estudio de la deformación, en especial de los minerales de alteración hidrotermal, los cuales fueron analizados mediante microscopio electrónico equipado con espectrómetro dispersivo de energía (SEM-EDS) en el Laboratorio de Microscopía Avanzada (CMA) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Se empleó para ello un equipo SUPRA 40 de la firma Carl Zeiss AG, equipado con un detector EDS de estado sólido Si(Li) de la marca Oxford Instruments, cuya resolución es de 136 eV y su límite de detección es de 0,01%. Los espectros fueron tomados con un haz de electrones de 20 keV y procesados mediante el software INCA Energy.

RESULTADOS

Los análisis de las anisotropías identificadas a partir de la imagen satelital del distrito revelan cuatro direcciones principales (Figs. 6 y 7a). Predominan las estructuras de orientación NO-SE, cuyo valor medio es contenido en el intervalo de clase 305°-310° dentro de un rango que varía entre

290°-340°. Siguen en abundancia las anisotropías de dirección NE-SO y E-O, las primeras de intervalo de clase medio de 65°-70° comprendido entre 50°-70° y las segundas con ángulo medio contenido en el intervalo de clase 270°-275° pertenecientes al espectro 250°-290°. La última familia identificada corresponde a estructuras NNO-SSE, las cuales poseen un intervalo de clase medio de 350°-355° y abarcan un rango de 340° a 0°.

La dirección NO-SE está particularmente bien desarrollada dentro del distrito minero Agua de Dionisio y estaría vinculada al lineamiento Culampajá (Fig. 5). A su vez, es la dirección en la cual se alinean una gran cantidad de depósitos de la comarca, rasgo también reconocido por Salado Paz *et al.* (2011). Además, como se observa en la figura 6, las fallas Agua de la Chilca, del Águila, Los Viscos, Steve's, Yeso, Ron, Arroyo y Durazno entre otras, aportan al peso estadístico de la dirección NO-SE de forma significativa. Dicha orientación constituye la disposición promedio de diques y vetas de la comarca.

En cuanto a las direcciones NE-SO y E-O, la primera posee su valor medio que se encuentra íntimamente relacionada al rumbo aproximado del lineamiento Tucumán o zona de transferencia de Tucumán (Fig.

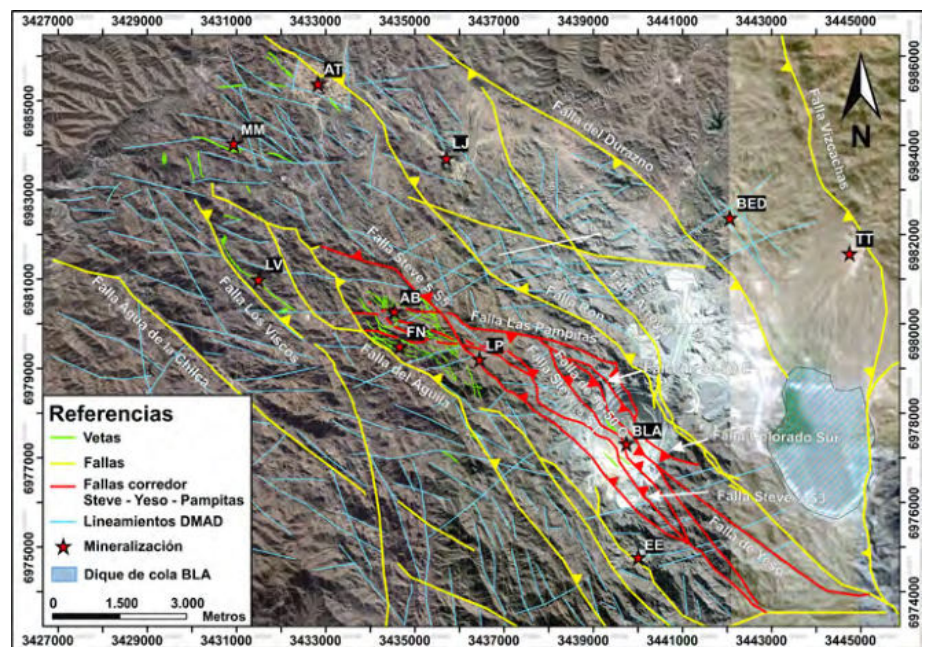


Figura 6. Estructuras principales del distrito minero Agua de Dionisio, en donde se destaca al corredor estructural conformado por las fallas Steve, Yeso y Las Pampitas y sus fallas asociadas, que junto con la falla del Águila definen un sector con gran desarrollo de vetas epitermales con mineralización. Referencias: Agua Tapada (AT), Alto de la Blenda (AB), Bajo de la Alumbreira (BLA), Bajo El Espanto (EE), Bajo El Durazno (BED), Farallón Negro (FN), La Josefa (LJ), Las Pampitas (LP), Los Viscos (LV), Macho Muerto (MM) y Tampa Tampa (TT).

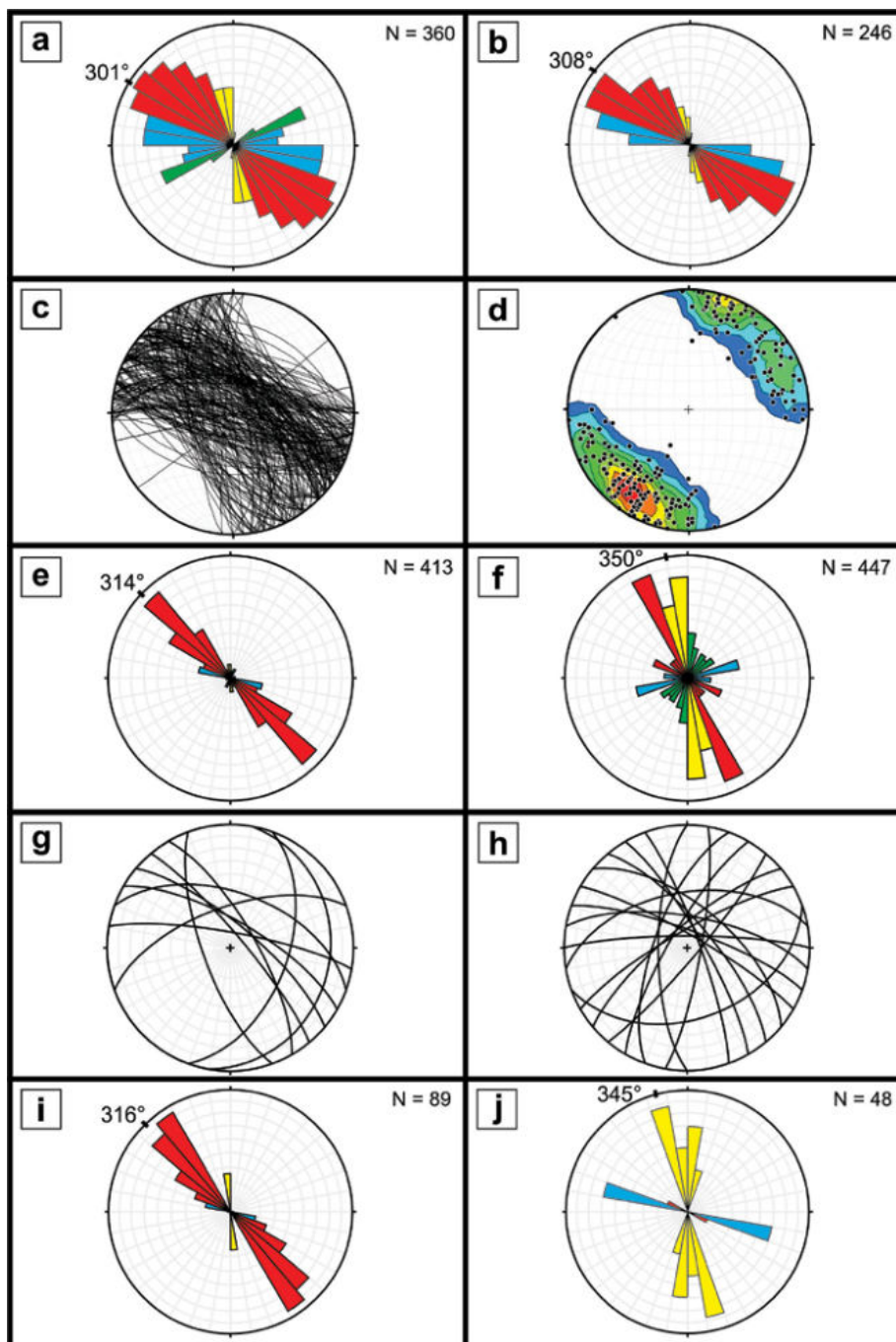


Figura 7. Representaciones gráficas de los datos estructurales recabados en esta investigación. a) Diagrama en roseta de las direcciones de discontinuidades totales del distrito minero Agua de Dionisio identificadas mediante imagen satelital; b) Diagrama en roseta de los rumbos obtenidos mediante brújula geológica de las vetas de Farallón Negro-Alto de la Blenda; c) Representación estereográfica de los datos de rumbo e inclinación de las vetas de Farallón Negro-Alto de la Blenda; d) Polos de planos de inclinación de las vetas de Farallón Negro-Alto de la Blenda con contorno de isofrecuencia (rojo = máximo; azul = mínimo); e) Diagrama en roseta para las mediciones de rumbo tomadas en Veta Esperanza Sudeste mediante brújula geológica; f) Diagrama en roseta para las mediciones de rumbo tomadas en Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro mediante brújula geológica; g) Representación estereográfica de los datos de rumbo tomados para Veta Esperanza Sudeste, donde se presentan promediados para cada intervalo de clase los valores de inclinación; h) Representación estereográfica de los datos de rumbo tomados para Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro, donde se presentan promediados para cada intervalo de clase los valores de inclinación; i) Diagrama en roseta para vetillas que rellenan brechas asociadas a Veta Esperanza Sudeste; j) Diagrama en roseta para vetillas que rellenan brechas asociadas a Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro.

4), de azimut de 70° según Mon (1976), Jordan *et al.* (1983) y Sasso *et al.* (1995). A su vez, en la comarca, las orientaciones

de fallas como las de Buenaventura, Atajo, Capillitas y Aconquija son similares a dicha dirección (Fig. 4). La cuarta población

identificada NNO-SSE es la de menor representación en el terreno.

El análisis estadístico estructural de campo para las vetas y vetillas totales de la comarca, principalmente del sector central, centro sur y centro norte (área 1, Fig. 3) muestran un predominio de estructuras NO-SE con intervalo de clase medio de 300° - 310° , acompañadas por familias subordinadas E-O y NNE-SSO de respectivos intervalos de clase medio 270° - 280° y 0° - 10° (Fig. 7b). En cuanto a sus inclinaciones, estas varían hacia el NE como al SO unos 45° a 90° , aunque en el caso de la dirección SO, la tendencia marca ángulos más próximos a la vertical con respecto a la orientación opuesta (Fig. 7c-d).

En particular, las mediciones de rumbos de diversos tramos de vetas de los depósitos y sus *stockworks* mineralizados en las vetas Esperanza Sudeste y Farallón Negro Rama Norte junto con Encuentro (Figs. 3, Fig. 7e y f) se disponen en familias de direcciones compatibles con las del análisis de las imágenes satelitales (Fig. 7a) y del sistema vetiforme general (Fig. 7b). En la Veta Esperanza Sudeste predominan estructuras NO-SE, cuyo rumbo medio es de 314° , mientras que para Veta Farallón Negro Rama Norte y Veta Encuentro, ubicadas al SE, preponderan estructuras NO-SE y NNO-SSE, con ángulo medio de 350° . Con respecto a la inclinación de las estructuras que integran Veta Esperanza Sudeste y Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro, se observa que, en promedio, los tramos comprendidos en los intervalos de clase de mayor representatividad inclinan predominantemente hacia el NE y con ángulos promedio de entre 71° y 84° , mientras que los segmentos pertenecientes a los intervalos de clase de menor representatividad inclinan hacia el NE y SO con ángulos promedio abarcados entre 20° y 82° (Fig. 7g-h).

En Veta Esperanza Sudeste se determinaron tres poblaciones, de las cuales domina la NO (314°) junto a dos direcciones secundarias ONO (300°) y NNO (330°). Otras direcciones poco a muy poco desarrolladas identificadas son: ONO (286°), NNE (18°), N-S y ENE (59° ; Fig. 7e). En Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro cuatro son dominantes: una NNO-SSE (350°), seguidos por direcciones de orientación NNE-SSE (4°), NE-SO (255°)

y NO-SE (295°; Fig. 7f). Estas tendencias son similares a las observadas para las estructuras previamente analizadas tanto a escala regional mediante imagen satelital como así también en mediciones de campo.

Las vetas poseen abundantes tramos constituidos por brechas a lo largo de sus corridas. Mediciones de rumbo de las vetillas que cementan los clastos de dichas brechas que integran Veta Esperanza Sudeste y Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro poseen actitudes promedio de 316° y 345° respectivamente (Fig. 7i-j). Estos valores son coincidentes con los promedios obtenidos para las mediciones de rumbo de Veta Esperanza Sudeste y Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro (Fig. 7e-f).

De acuerdo con las nomenclaturas de Jébrak (1997), las brechas presentes en las vetas son de carácter tectono-hidráulico, y presentan relleno calcítico y por óxidos e hidróxidos de Mn principalmente (Fig. 8a-b), con presencia subordinada de sílice y sulfuros de metales base, así como elementos preciosos. Sus clastos son angulares a subangulares, de carácter oligomórfico, fábrica matriz-sostén y se encuentran afectados por alteración argílica, propílica y/o filica. A veces obedecen a una orientación preferencial y cuentan con muy mala selección, dado sus tamaños variables desde pocos milímetros hasta 20 cm de largo. Los fragmentos corresponden a la Monzonita Alto de la Blenda o la Andesita Brecha Morada Central, según donde se emplazan las vetas. Las zonas de brecha se extienden sobre el rumbo hasta decenas de metros y su potencia varía desde 1 hasta 15 metros.

Además, se han reconocido cuerpos de brechas de atricción asociados a las vetas (Fig. 8c), cuya orientación es cercana al eje N-S con un azimut de 350°. En ellas prevalece el material de grano fino molido, con rotación de sus clastos y en donde los fluidos no han tenido tanta capacidad de poder rellenar como en el caso de los sectores con dilatación, pero sí de reemplazar, en algunos casos de forma penetrativa, al material triturado. Los ejemplares de veta muestreados analizados se componen, en mayor a menor abundancia, por bandas colorfor-

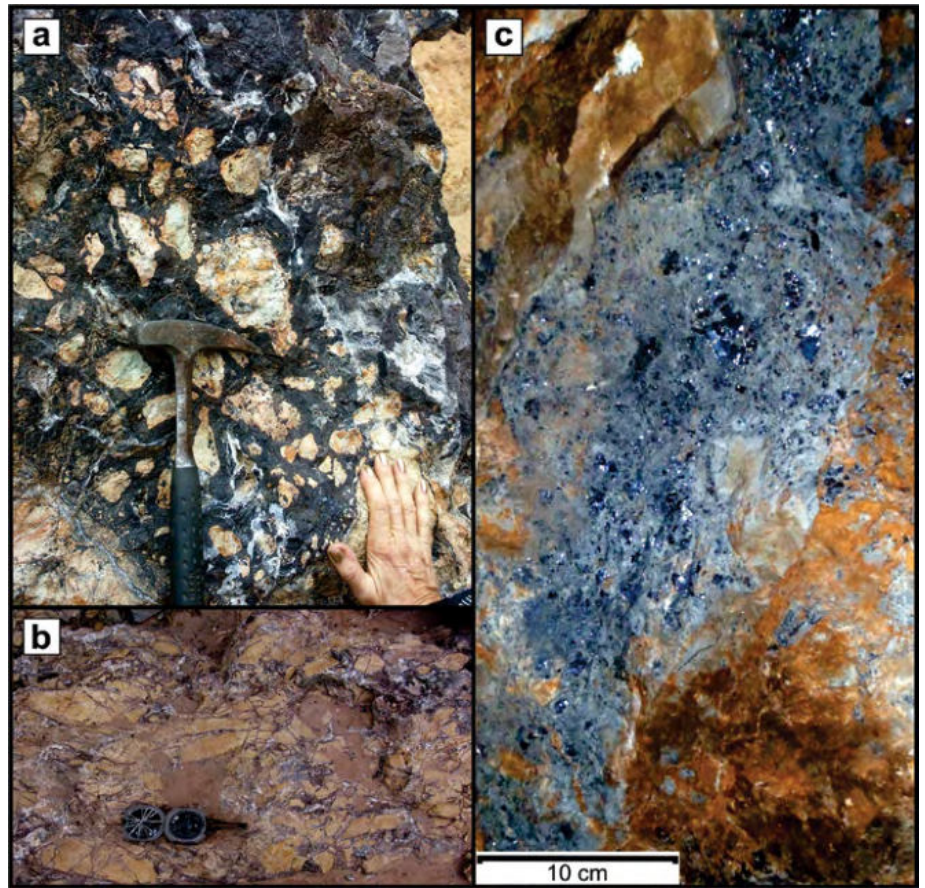


Figura 8. a-b) Brechas tectono-hidráulicas rellenas vetas en superficie. Nótese la fábrica matriz-sostén, la orientación de clastos y el relleno rico en sílice y óxidos e hidróxidos de Mn; c) Brecha de atricción rellena vetas en interior mina. Nótese la fábrica matriz a clasto-sostén, comprendida por clastos orientados finos y gruesos, de formas angulares a sub angulares, reemplazados parcial a totalmente por galena y con matriz de relleno silíceo.

mes de sílice, óxidos e hidróxidos de Mn y carbonatos (Fig. 9a), con sulfuros diseminados. Estos pulsos rellenan las estructuras, tanto las vetas principales del yacimiento, como también vetillas subordinadas pertenecientes a los *stockworks* de los cuerpos vetiformes. Las bandas coloriformes tienden a sellar las estructuras de forma secuencial y simétrica, aunque se observan con frecuencia pulsos que atraviesan y desplazan bandeamientos previos (Fig. 9b), enfatizando el carácter multipisódico de la mineralización y su vínculo con etapas de reactivación tectónica.

Asimismo, los minerales de alteración hidrotermal que conforman vetillas en la Monzonita Alto de la Blenda y Andesita Brecha Morada Central exhiben deformación, particularmente en el caso de láminas de cloritas (Fig. 9c). Estos filosilicatos suelen rellenar vetillas que atraviesan la roca de caja y que obedecen

al rumbo de las principales estructuras y cuerpos mineralizados del depósito, lo cual sugiere precipitación bajo condiciones sintectónicas. Con respecto a su composición, las cloritas son ricas en cationes de Mg, Fe y Mn (Fig. 10). También se detectó K en escasa concentración, lo cual puede ser indicador de minerales del grupo de las arcillas presentes de manera interestratificada en dichas cloritas.

DISCUSIÓN

Modelo Cinemático

En base a los resultados presentados en este trabajo a escalas diversas de observación, se interpreta que las orientaciones de poblaciones o familias de estructuras, entre ellos de vetas y vetillas del distrito minero Agua de Dionisio, se agrupan en el modelo de una zona de cizallamiento sim-

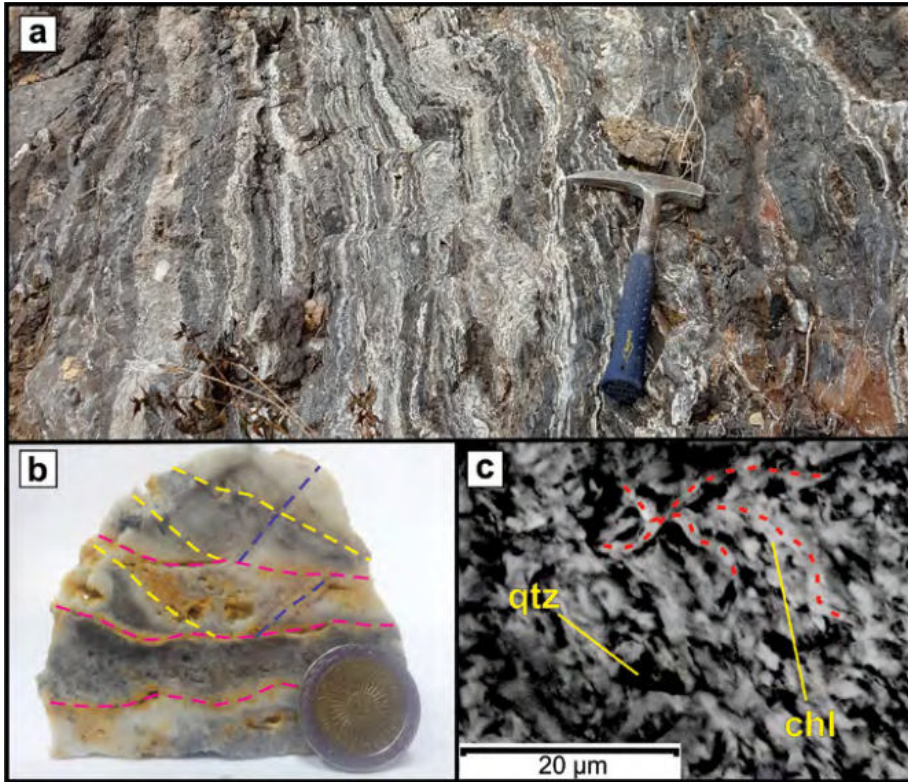


Figura 9. a) Tramo de Veta Esperanza Sudeste en superficie donde se distingue relleno por bandeamientos secuenciales coliformes de sílice y óxidos e hidróxidos de Mn; b) Corte transversal de muestra rica en sílice de Veta Farallón Negro Rama Norte. En líneas punteadas rojas, amarillas y azules se resaltan la orientación de distintos pulsos mineralizantes. Nótese su relación espacial, con cambios de dirección y desplazamientos; c) Imagen SEM de cloritas (chl) flexuradas junto a cuarzo (qtz) que rellenan una vetilla en Monzonita Alto de la Blenda.

ple y más precisamente en un sistema de deformación tipo Riedel (Cloos 1928, Riedel 1929). De esta manera, se reconocen los juegos Riedel o sintéticos, conocidos también como R o R1, que se disponen con ángulos siempre inferiores a 45° con respecto a la zona de cizallamiento, aunque habitualmente entre 12° y 16°; y los juegos Anti-Riedel o antitéticos, también llamados R', R* o R2, que se desarrollan con ángulos siempre mayores a 45° con respecto a la zona de cizallamiento que los genera, aunque habitualmente en torno a los 78° (Rossello 2001). Conjugando ambos juegos Riedel y Anti-Riedel en un sistema con simetría ortorrómbica (Ramsay 1977, Choukroune *et al.* 1987), siempre se definirá en la bisectriz aguda la posición del esfuerzo principal máximo (σ_1) y por ende el responsable de su desarrollo y de la zona transcurrente que lo contiene (Rossello 2001). Para el caso estudiado a escala general del yacimiento y distrito minero Agua de Dionisio, el (σ_1) local debió disponerse con azimut 335° y refleja un sistema transtensivo (Fig. 11). En el caso de sistemas transcurrentes

evolucionados en donde hayan acontecido numerosos eventos de fracturamiento y desarrollando juegos Riedel como en el área de Farallón Negro-Alto de la Blenda, puede reconocerse de forma subordinada otro u otros juegos de discontinuidades con cinemáticas sintéticas y antitéticas con respecto a la faja que los contiene y con relaciones angulares semejantes a los juegos Riedel, aunque también con signo opuesto, los cuales se denominan juegos P e Y (sintéticos) y X (antitético) (Rossello 2001). Con respecto a la generación de los juegos, Naylor *et al.* (1986) describen la evolución de las componentes R y R' del sistema Riedel y señalan que, en estadios más avanzados, los esfuerzos tienden a reorganizarse diferencialmente en los tramos compresivos y extensivos de sus terminaciones, nucleando la generación de los fallamientos secundarios potenciales que los conectan y a los cuales son adjudicados los juegos P, X e Y. Los juegos X son complementarios de los juegos Anti-Riedel y los juegos Y expresan, a escala subordinada, la posición y

cinemática de la faja mayor que genera y contiene a todas las estructuras discontinuas de segundo orden. Los juegos X no han sido detectados para la zona de estudio, mientras que en el caso de los juegos Y su identificación no ha podido ser correctamente discriminada. Al respecto, se pudo determinar para el cizallamiento simple, en ocasiones, variaciones angulares para las cizallas menores (desde R hasta Y) en la configuración del sistema, dentro de la transcurrencia mayor que las contiene, tal como surge en el extremo SE en Veta Farallón Negro Rama Norte-Veta Encuentro (Figs. 3 y 7f y Cuadro 1) y también en el extremo NO de la configuración vetiforme. Estas variaciones locales, además, se observan sobre el rumbo de las vetas dentro de una escala métrica a decamétrica, y contribuyen al diseño sigmoidal visto en planta como en profundidad de la mineralización. Anisotropías estructurales previas del terreno podrían haber controlado dichas variaciones.

De este modo, en las estructuras gene-

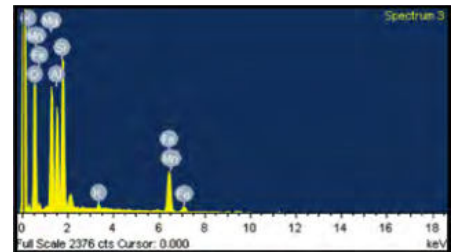


Figura 10. Picos espectrales obtenidos mediante EDS para cloritas hidrotermales que rellenan vetillas en Monzonita Alto de la Blenda.

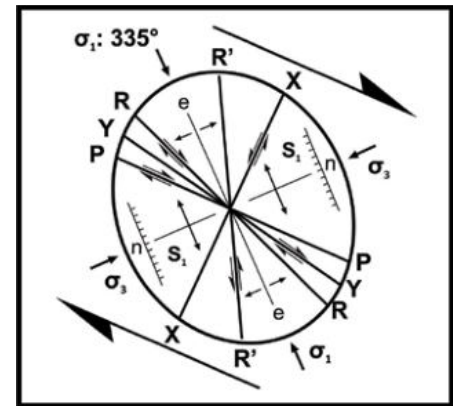


Figura 11. Esquema integrado de los juegos Riedel R, R', Y, P y X, fallamiento normal (n), extensiones (e), clivajes o foliaciones (S1) y localización de ejes de esfuerzo principales σ_1 y σ_3 en el contexto del esquema Riedel para Veta Esperanza Sudeste.

radas por deformación progresiva debido a sistemas cizallantes dextrales, como es el caso identificado para el área Farallón Negro-Alto de la Blenda, la rotación será horaria y contrariamente, en sistemas cizallantes senestrales, la rotación será en sentido antihorario, tendiendo en ambos casos a paralelizarse con la zona de deformación principal. Este efecto es interpretado como producto del carácter multiepisódico de la estructuración que controló la mineralización del depósito, siendo así que la posición de los juegos R y R' posean ángulos variables hacia los sectores australes y boreales del yacimiento.

Como puede observarse en la figura 11, se han identificado para el sistema vetiforme los juegos R, R' y P; estructuras principales que ejercieron un control estructural en el mecanismo de transporte y depositación de la mineralización.

La región cuenta con un importante desarrollo de discontinuidades R cuyo valor de orientación promedio es de 305° (NO-SE) y está subordinado por P con un valor medio de 295° (E-O). Dichas direcciones de cizallas menores dentro de la zona de transurrencia son coincidentes con parte de los rumbos de lineamientos y fallas de la comarca (del Águila, Agua de la Chilca, Ron, Los Viscos, Steve's, Yeso, del Durazno y Arroyo, véase Fig. 4) y reproducen sus rumbos e inclinaciones, salvo que sean interferidas por otras estructuras. R' ha tenido menos desarrollo en comparación, y posee una orientación promedio de 5° (N-S).

La interacción entre los juegos R (305°) y R' (5°), y principalmente entre R (305°) y P (275°), se interpreta que han propiciado la generación de *jogs* dilatacionales, los cuales, siguiendo teorías de Sibson (1986), son sitios en donde los resaltos de los segmentos discontinuos de la falla, sin importar su tipo ni sentido de movimiento, tienden a incrementar el volumen. En estos sectores, la resistencia a la fricción en sus puntas disminuye, facilitando el deslizamiento y generando atricción, mientras que la tensión compresiva media decrece en la región interna del segmento, favoreciendo así el desarrollo de un sistema de fracturamiento extensivo y/o cizallante (Sibson 1985).

Bajo este régimen tectónico, el relleno

de los cuerpos mineralizados resultó de origen híbrido. Por un lado, las predominantes bandas coliformes secuenciales que rellenan las vetas (Fig. 9a) corroboran que el sistema favoreció la apertura de estructuras (*jogs* dilatacionales) que fueron aprovechadas para la migración de soluciones que progresivamente precipitaron minerales hasta sellar total o parcialmente dichos cuerpos. Por otro lado, la presencia de segmentos de vetas integrados por brechas de componentes fluido asistidos y tectónicos indica relleno controlado por la cinemática estructural. Siguiendo las teorías de Phillips (1972), Jébrak (1997) y Sibson (2001), se interpreta que la génesis de estas rocas surge a raíz de la transferencia de esfuerzos durante la estructuración, lo cual habría resultado en que la presión del medio descienda

abruptamente con respecto a la del fluido, dando lugar a la creación de volumen por procesos de despresurización, ebullición y ruptura, propiciando así la formación de las brechas hidráulicas de implosión acompañadas por precipitación de minerales de mena y ganga (Fig. 8a- b). Márquez-Zavalía y Heinrich (2016) informan para Veta Esperanza Sudeste brechas similares a las descritas en este trabajo, las cuales podrían ajustar al modelo propuesto. Para el área de Farallón Negro-Alto de la Blenda, estos resaltos corresponderían a una zona de cizalla con componente de rumbo dextral.

También existen sectores neutros y resaltos contraccionales, los cuales presentan una disposición cercana al eje N-S, en donde las vetas tienden a afinarse y estar integradas por brechas de atricción y

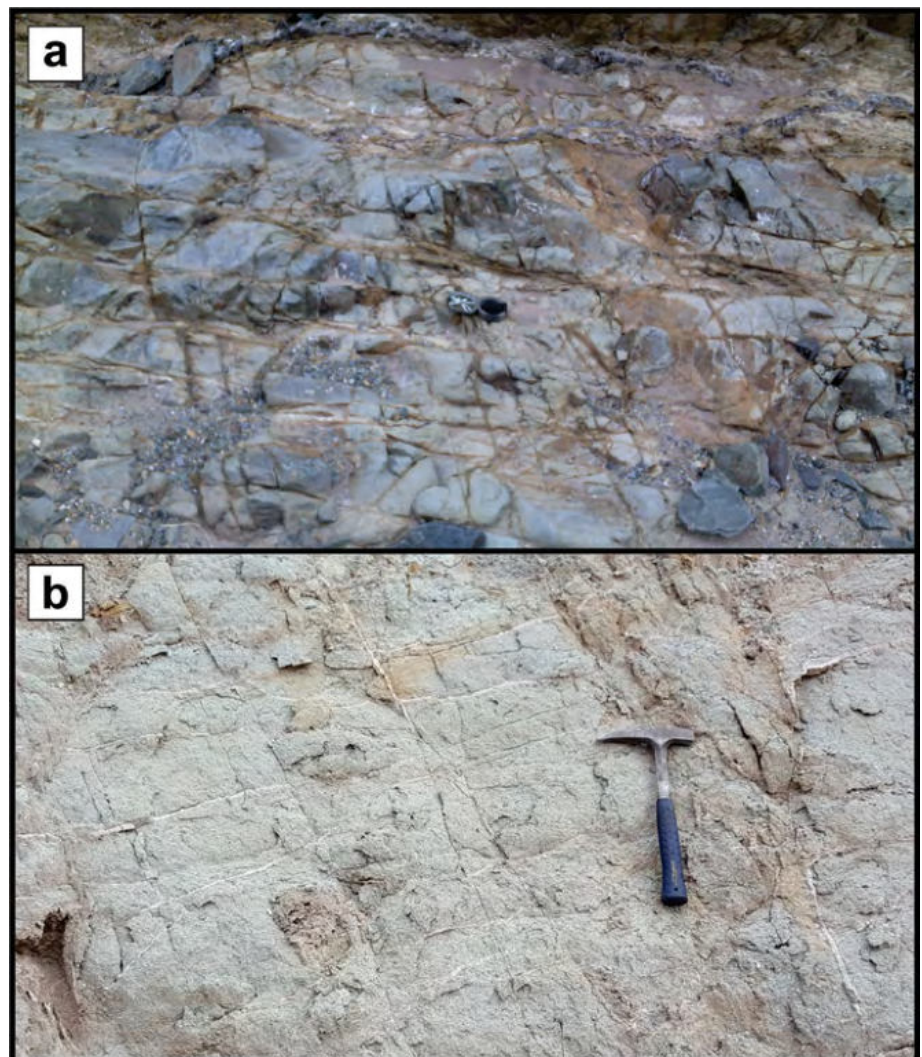


Figura 12. a) *Stockwork* asociado a Veta Farallón Negro Rama Norte de vetillas ricas en óxidos e hidróxidos de Mn con entramado de diseño tipo *mesh*; b) Vetilleo silíceo en cuerpo dacítico con entramado de diseño tipo *mesh*.

corrosión (Fig. 8c). Dichas brechas están conformadas por material de grano fino molido y con rotación de sus clastos, donde se interpreta que los fluidos no han tenido tanta capacidad de poder rellenar como en el caso de los *jogs* extensionales. Las terminaciones del sistema vetiforme en los extremos NO y SE de la comarca ponen en evidencia estas características consideradas.

Evidencias de brechamiento por la acción combinada de sobrepresión de fluidos y tectonismo fueron también observadas por diversos autores para otros sistemas vetiformes epitermales, como es el caso de la veta Osvaldo Diez del yacimiento Cerro Vanguardia en la provincia de Santa Cruz (Mutti 1999) o depósitos ubicados en los estados australianos de Victoria (Forde y Bell 1994) y Australia Occidental (Hagemann *et al.* 1992). Brechas producto de dichos mecanismos son adicionalmente informadas por Chifflet (2016) para el depósito epitermal de alta sulfuración que el autor describe en la zona de Portezuelo Vidal Gómez del distrito minero Jotabache, ubicado en la región de Atacama en el límite de Argentina y Chile.

El análisis estructural de las vetas y la identificación de los juegos Riedel han permitido asignar una dinámica transcurriente dextral de rumbo 290° al sistema de cizalla integrado por las fallas del Águila, Steve's S5 y Las Pampitas (Fig. 6), esta última propuesta en García (2018). Bajo este contexto, la deformación involucró zonas de fallas que se propagaron con corridas escalonadas y discontinuas (*gashes en echelón*), y en conjunto definieron un modelo del tipo *mesh* o "panal de abeja" (Fig. 12a-b; Sibson 1996). Este entramado de estructuras tectónicas tridimensionales fue aprovechado para la inyección de fluidos hidrotermales, los cuales habrían generado una transferencia

de esfuerzos a medida que aumentó la presión hidráulica, constituyéndose para esta etapa como el control estructural dominante. Luego, a partir del descenso abrupto de la presión confinante con respecto a la de fluidos, se habrían generado *jogs* dilatacionales a raíz de mecanismos de ebullición y despresurización, resultando en brechamiento hidráulico y precipitación mineral.

Otro aspecto para considerar es que la transcurriencia que controló y alberga las vetas epitermales Farallón Negro-Alto de la Blenda, que además sobreimpuso vetas epitermales en Bajo de la Alumbraera y un patrón de alteración cuarzo-magnetita en las Pampitas (Faeda 2017) y en Bajo de la Alumbraera, coincide con el lineamiento o corredor Culampajá (Fig. 5). El origen de este corredor es aún discutido; Allmendinger *et al.* (1982 y 1983) y Jordan *et al.* (1983) proponen que deben su génesis a la orogenia Oclóyica, mientras que Salfity (1985) les atribuye edad precámbrica-eopaleozoica. De todas formas, es consenso en la bibliografía disponible que estas estructuras fueron reactivadas durante la orogenia Ándica, aspecto evidenciado por la disposición lineal de edificios volcánicos miocenos a lo largo de estos lineamientos en los terrenos del noroeste argentino (Salfity 1985, Schreiber y Schwab 1991, Matteini *et al.* 1997, Riller *et al.* 2001).

Al respecto, Allmendinger (1986) y Urrezieta *et al.* (1996) vinculan el alzamiento de la Puna con un desvío de esfuerzos regionales NE-SO hacia direcciones NO-SE en los sectores australes de dicha provincia geológica durante el límite Mioceno/Plioceno. De acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2002), dicho aspecto implicó para el distrito minero Agua de Dionisio la transición de dominios compresivos (12,6-8,5 Ma), asociados al emplazamiento de pórfiros, a tensionales (8,5-5,5 Ma), los cuales ejercieron control estructural sobre la génesis de depósitos epitermales vetiformes de la comarca, como el de Farallón Negro-Alto de la Blenda. Este último dominio tensional avalaría el modelo cinemático obtenido en este trabajo para el yacimiento epitermal Farallón Negro-Alto de la Blenda. Estos aspectos, en conjunto a los hallazgos presentados en este trabajo, posibilitan esclarecer la evolución del distrito minero tal como propusieron Halter *et al.*

(2005) y García (2018), distinguiéndose una etapa inicial durante un régimen de esfuerzo de dirección NE-SO, asociado al emplazamiento inicial del Complejo volcánico Farallón Negro hasta el de la dacita Agua Tapada (P2), para luego avalar un sistema tensional controlado por un esfuerzo NO-SE a partir de los ~7,5 Ma y al menos hasta los ~5,5 Ma. Esta última etapa de evolución se interpreta que controló el proceso hidrotermal mineralizante, tanto en los pórfiros como en las estructuras a modo de vetas epitermales portadoras de oro y otros minerales con orientaciones predominantes hacia los cuadrantes NO-SE.

CONCLUSIONES

La estructuración del sistema vetiforme Farallón Negro-Alto de la Blenda habría estado condicionada por una zona con actividad hidrotermal y por la interacción entre los megalineamientos Tucumán (NE-SO) y Culampajá (NO-SE). Por un lado, el primero habría actuado entre los 12,6 y 7,5 Ma, ejerciendo esfuerzos compresivos y controlando la intrusión de *stocks* subvolcánicos en el distrito minero Agua de Dionisio representados por Tampa Tampa, Bajo el Durazno, Andesita La Chilca y la Monzonita Alto de la Blenda. Por otro lado, el segundo habría operado desde los 7,5 hasta los 5,5 Ma, imprimiendo al distrito tectónica tensional, propiciando la intrusión de las dacitas Loma Morada, Agua Tapada, Morro Amarillo, Macho Muerto, Los Pozos, Tobogán, Las Pampitas, Bajo la Alumbraera, El Espanto y Bajo San Lucas y controlando sus alteraciones hidrotermales y los sistemas de vetas y brechas sobreimpuestas tanto en la Andesita Brecha Morada Central y Monzonita Alto de la Blenda, cómo también en cuerpos porfíricos como los de Bajo de la Alumbraera y Agua Tapada.

Justamente, en concordancia con esta última dirección de deformación mencionada y sin soslayar las estructuras existentes en el terreno, se desarrolló la estructuración del sistema vetiforme Farallón Negro-Alto de la Blenda a lo largo de una zona de cizalla con rumbo 290° y con un esfuerzo principal σ_1 ubicado en el azimut 335°, de acuerdo con el modelo de

Cuadro 1. Síntesis de las direcciones medidas para los juegos Riedel.

Juego Riedel	Intervalo de clase medio (°)
R	310-320
R'	350-0
P	290-300
X	20-30
Y	300-310

juegos sintéticos y antitéticos Riedel para un sistema transtensivo dextral. Esta zona de cizalla está limitada por las fallas del Águila, Steve's S5 y Las Pampitas. Bajo este contexto cinemático, la génesis de los cuerpos vetiformes resultó híbrida, habiendo involucrado componentes hidrotermales y tectónicas.

La orientación del enjambre de vetas es de predominio NO-SE, y en conjunto a sus *stockworks* y brechas asociadas, conformarían una estructura tipo mesh que habría propiciado el espacio para la generación de *jogs* dilatacionales y precipitación de minerales preciosos junto con sílice, carbonatos y sulfuros.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló en el marco de los proyectos de investigación UBACyT 20020130100016BA y 20020170100623BA financiados por la Universidad de Buenos Aires. Se agradece a la empresa Yacimientos Mineros Agua del Dionisio (YMAD) por su colaboración y apoyo para la estadía de las campañas realizadas, y a los revisores de este trabajo Raúl Giacosa y Manuel Demartis, quienes aportaron valiosas críticas y sugerencias para la mejora de este trabajo.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F. y Aceñolaza, G. 2005. La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico – Cámbrico temprano del Noroeste Argentino. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12(2): 65-85.
- Allmendinger, R.W., Jordan, T.E., Palma, M. y Ramos, V.A. 1982. Perfil estructural en la Puna catamarqueña (25-27°S), Argentina. *Quinto Congreso Latinoamericano de Geología*, Actas 1: 499-518, Buenos Aires.
- Allmendinger, R.W., Ramos, V.A., Jordan, T.E., Palma, M. e Isacks, B.L. 1983. Paleogeography and andean structural geometry, Northwest Argentina. *Tectonics* 2(1): 1-16.
- Allmendinger, R.W. 1986. Tectonic development, southeastern border of the Puna Plateau, northwestern Argentine Andes. *Geological Society of America Bulletin* 97: 1070-1082.
- Barazangi, M. e Isacks, B.L. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology* 4: 686-692.
- Chernicoff, J.C., Richards, J.P. y Zappettini, E.O. 2002. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical and remote sensing evidence. *Ore Geology Reviews* 21: 127-155.
- Chifflet, A.G. 2016. Geología y caracterización yacimientológica del área Portezuelo Vidal Gormaz, Región de Atacama, República de Chile y Provincia de Catamarca, República Argentina. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 95 p., Buenos Aires.
- Choukroune, P., Gapais, D. y Merle, O. 1987. Shear criteria and structural symmetry. *Journal of Structural Geology* 9 (5/6): 525-530.
- Cloos, H. 1928. Über antithetische Bewegung. *Geologische Rundschau* 19: 246-251.
- Davis, G.H., Reynolds, S.J. y Kluth, C.F. 2012. Shear zones and progressive deformation. *Structural Geology of Rocks and Regions*. John Wiley & Sons, Inc., 530-598, Nueva York.
- Faeda, G.D. 2017. Geología y caracterización yacimientológica del área Bajo Las Pampitas. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 112 p., Buenos Aires.
- Forde, A. y Bell, T.H. 1994. Late structural control of mesothermal vein-hosted gold deposits in Central Victoria, Australia: mineralization mechanisms and exploration potential. *Ore Geology Reviews* 9: 33-59.
- García, J.M. 2018. Integración del sistema pórfiro-epitermal del Distrito Minero Agua de Dionisio: fuentes y evolución espacial del fluido mineralizante. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédito), 336 p., Buenos Aires.
- González Bonorino, F.G. 1950. Geología y petrografía de la Hoja 12d (Capillitas) y 13d (Andalgalá), provincia de Catamarca. Dirección General de Geología y Minería, Boletín N° 70, Buenos Aires.
- Gutiérrez, A., Kojima, S. y Espinoza, R.S. 2002. Ambiente tectónico del Distrito Minero Agua de Dionisio (YMAD), Argentina. XI Congreso Peruano de Geología, Resúmenes CD: 1-10, Lima.
- Gutiérrez, A., Chong, D.G. y Espinoza R.S. 2006. Niveles de exposición de yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(2): 269-278.
- Halter, W.E., Heinrich, C.A. y Pettke, T. 2005. Magma evolution and the formation of porphyry Cu–Au ore fluids: evidence from silicate and sulfide melt inclusions. *Mineralium Deposita* 39: 845-863.
- Hagemann, S.G., Groves, D.I., Ridley, J.R. y Vearncombe, J.R. 1992. The archean lode gold deposits at Wiluna, Western Australia: high-level brittle-style mineralization in a strike-slip regime. *Economic Geology* 87: 1022-1053.
- Jébrak, M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12: 111-134.
- Jones, J.P. y Martínez, R.D. 2007. Aspectos regionales de nuevos sistemas porfíricos en Argentina, desde Salta hasta Mendoza. *Exploración minera en Argentina: Descubrimientos, mineralizaciones y estilos*. Asociación de Geólogos Economistas, Publicación especial 1: 21-30, Buenos Aires.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Ramos, V.A. y Allmendinger, R.W. 1983. Mountain building in the Central Andes. *Episodes*: 20-26.
- Llambías, E. 1970. Geología de los Yacimientos Mineros Agua de Dionisio, Provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 1 (1-2): 2-32.
- Llambías, E. 1972. Estructura del Grupo Volcánico de Farallón Negro, Provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 161-196.
- Malvicini, L. y Llambías, E. 1963. Mineralogía y origen de los minerales de manganeso y sus asociados en Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos, Huallfín, Provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18: 177-200.
- Márquez-Zavallá, M.F. y Heinrich, C.A., 2016. Fluid evolution in a volcanic-hosted epithermal carbonate-base metal-gold vein system: Alto de la Blenda, Farallón Negro, Argentina. *Mineralium Deposita* 51: 873-902.
- Martínez, F., Fogliata, A., Montenegro, N. y Hagemann, S., 2014. Metalogénesis de la veta Farallón Negro rama norte, Farallón Negro, Provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71(4): 553-561.
- Matteini, M., Mazzuoli, R. y Omarini, R., 1997. The Volcanism Along the Calama-Olacapato-El Toro Transversal Fault System in the Central Andes: The Tultul, del Dedio and Pósitos Volcanoes (Puna, Argentina). VIII Con-

- greso Geológico Chileno, Actas: 159-163, Antofagasta.
- Mirre, J.C. y Acefólaza, F.G. 1972. El hallazgo de *Oldhamia* sp. (traza fósil) y su valor como evidencia de edad Cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde occidental del Aconquija, Prov. de Catamarca. *Ameghiniana* 9(1): 72-78.
- Mon, R. 1976. La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31: 65-72.
- Mutti, D.I. 1999. Estudio yacimientoológico de la veta Osvaldo Diez, yacimiento Cerro Vanguardia, Provincia de Santa Cruz. Instituto de Tecnología Minera, Servicio Geológico Minero Argentino (informe inédito), 357 p., Buenos Aires.
- Naylor, M.A., Mandl, G. y Supesteijn, C.H.K. 1986. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states. *Journal of Structural Geology* 8(7): 737-752.
- Phillips, R. 1972. Hydraulic fracturing and mineralization. *Journal of the Geological Society of London* 128: 337-359.
- Proffett, J.M. 2003. Geology of Bajo de la Alumbrera Porphyry Copper-Gold Deposit, Argentina. *Economic Geology* 93: 1535-1574.
- Ramsay, J.G. 1977. Plegamiento y fracturación de rocas. H. Blume Ediciones, 590 p., Madrid.
- Rapela, C.W., Coira, B., Toselli, A.J. y Llamblas, E.J. 1999. Sistema Famatiniano de las Sierras Pampeanas y magmatismo eopaleozoico de las Sierras Pampeanas, De la Cordillera Oriental y Puna. En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 145-158, Buenos Aires.
- Riedel, W. 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. *Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie* 1929(B): 354-368.
- Riller, U., Petrunic, I., Ramelow, J., Strecker, M. y Oncken, O. 2001. Late Cenozoic tectonism, collapse caldera and plateau formation in the central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 188: 299-311.
- Rossello, E.A., Urreiztieta, M.D., Le Corre, C., Cobbold, P.R. y Gapais, D. 1996. La elipticidad de Bajo La Alumbrera y la caldera del cerro Galán (Catamarca, Argentina): ¿Reflejo de la deformación Andina? *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 51(3): 193-200.
- Rossello, E.A. 2000. Controles estructurales del Lineamiento Tucumán sobre el magmatismo neógeno y sus mineralizaciones asociadas del Distrito Farallón Negro (Catamarca, Argentina): una revisión. *Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 52: 183-208.
- Rossello, E.A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. *Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial N°5, Serie D*: 19-43.
- Salado Paz, N., Fogliata, A.S., Avila, J.C. y Montenegro, N. 2011. Veta Esperanza sudeste, un caso particular de enriquecimiento supergénico en el yacimiento Alto de la Blenda, Distrito Minero Agua de Dionisio, Provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (2): 185-194.
- Salfity, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el Noroeste Argentino. IV Congreso Geológico Chileno, Resúmenes: 119-138, Antofagasta.
- Sasso, A.M. 1997. Geological evolution and metallogenetic relationships of the Farallon Negro Volcanic Complex, NW Argentina. Tesis doctoral, Universidad de Queen (inédito), 842 p., Kingston.
- Sasso, A.M. y Clark, A. 1999. El Grupo Farallón Negro: evolución magmática, hidrotermal y tectónica e implicancias para la metalogenia de cobre-oro en el retroarco andino, Catamarca. En: Zapettini, E.O. (ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 35: 1437-1450, Buenos Aires.
- Schreiber, U. y Schwab, K. 1991. Geochemistry of quaternary shoshonitic lavas related to the Calama-Olacapato-El Toro Lineament, NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 4: 73-85.
- Sibson, R.H. 1985. Stopping of earthquake ruptures at dilational fault jogs. *Nature* 316: 248-251.
- Sibson, R.H. 1986. Brecciation processes in fault zones: inferences from earthquake rupturing. *Pure and Applied Geophysics* 124: 159-175.
- Sibson, R.H. 1996. Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. *Journal of Structural Geology* 18(8): 1031-1042.
- Sibson, R.H. 2001. Seismogenic framework for hydrothermal transport and ore deposition. *Economic Geology* 14: 25-50.
- Sureda, R., Omarini, R., Mazzuoli, R., Vezzoli, L. y Gioncada, A. 2009. Metalogenia subvolcánica miocénica de metales nobles en la Puna y la Cordillera Oriental del NOA. IX Congreso de Geología Económica, Actas: 19-39, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Toselli, J.A., Rossi, J.N., Martínez, P., Giménez, M. e Introcaso, A. 2005. The Capillitas batholith, NW Argentina: geophysical and petrological evidences of crustal genesis. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 236(1-2): 129-147.
- Turner, J.C. 1962. Estratigrafía de la región al naciente de Laguna Blanca (Catamarca). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17(1): 1-46.
- Urreiztieta, M.D., Rossello, E.A., Gapais, D., Le Corre, C. y Cobbold, P.R. 1993. Neogene dextral transpression at the southern edge of the Altiplano-Puna (NW Argentina). II Simposio Internacional de Geodinámica Andina, Resúmenes: 267-269, Oxford.
- Urreiztieta, M.D., Gapais, D., Le Corre, C., Cobbold, P.R. y Rossello, E.A. 1996. Cenozoic dextral transpression and basin development at the southern edge of the Puna Plateau, northwestern Argentina. *Tectonophysics* 254: 17-39.
- Wernert, M.S. 2018. Metalogenia y estructuración de la prolongación austral de las vetas Farallón Negro Rama Norte y Encuentro del Distrito Minero Agua de Dionisio, Provincia de Catamarca, Argentina. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 182 p., Buenos Aires.