

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS MINERALIZACIONES JURÁSICAS DEL PROYECTO EPITERMAL LA JOSEFINA (AU-AG), MACIZO DEL DESEADO, SANTA CRUZ

Pilar MOREIRA^{1,2}, Raúl FERNANDEZ^{1,3}, Cecilia CABANA^{1,3} e Isidoro A. SCHALAMUK^{1,2}

¹ Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. Calle 64 entre 119 y 120, CP 1900, La Plata. Email: pilimoreira@inremi.unlp.edu.ar

² CONICET.

³ CICBA.

RESUMEN

El proyecto La Josefina se localiza en la porción central del macizo del Deseado donde el volcanismo Jurásico es el evento geológico mejor representado y está vinculado con manifestaciones epitermales de metales preciosos. Las mineralizaciones se emplazaron principalmente en fallas de orientación predominantemente NO y comportamiento dextrógiro. Principalmente, las curvaturas de estas fallas permitieron la formación de clavos mineralizados. A partir de estos datos y de la información pre-existente, se interpreta que la tectónica extensional en el Jurásico tardío dio lugar, en el proyecto La Josefina, a una deformación frágil, cuyo campo de esfuerzos tendría un esfuerzo máximo compresivo (s_1) de rumbo aproximadamente N340° a N-S y una dirección de extensión (σ_3) cercana a N070° a N080°. Este campo de esfuerzos, coincide con cizallas regionales de orientación NNE (~ N030°) de comportamiento sinistral.

Palabras clave: *Análisis estructural, Mineralizaciones epitermales jurásicas, Macizo del Deseado.*

ABSTRACT: *Structural analysis of the Jurassic mineralization from La Josefina epithermal Project (Au-Ag), Deseado Massif, Santa Cruz.* The La Josefina Prospect is located in the central part of the Deseado Massif, where Jurassic volcanic rocks are the most representative units and are related with precious metal epithermal mineralization. Mineralization has taken place mainly in northwest-trending dextral faults which give place to a vein system with ore shoots related to dilatational bends. Based on the present study and the previous information, it is interpreted that in La Josefina Prospect the extensional tectonics generated brittle deformation during the late Jurassic. The maximum compressive stress (s_1) has a direction approximately N 340° to N-S and the extensional direction (σ_3) is orientated N070-080°. This stress field is in agreement with regional northeast (~ N030°) left-lateral strike-slip faults.

Keywords: *Structural analysis, Epithermal Jurassic mineralization, Deseado Massif.*

INTRODUCCIÓN

El macizo del Deseado es una provincia geológica de aproximadamente 60.000 km² situada en la porción central de la provincia de Santa Cruz, que se extiende entre el río Deseado, límite norte que lo separa de la cuenca del Golfo San Jorge, y el río Chico, límite sur que lo separa con la cuenca Austral, y desde la costa atlántica en el este hasta la llamada dorsal de Río Mayo en el oeste. En este ambiente el volcanismo jurásico es el evento geológico de mayor representatividad e importancia, con el que se vinculan numerosos depósitos y manifestaciones epitermales de metales preciosos (Schalamuk *et al.* 1997) que se alojan en siste-

mas de fracturas originadas en un ambiente tectónico distensivo (Echavarría *et al.* 2005). Este régimen, tiene sus variaciones locales principalmente en función del tipo y estructura previa del basamento y de la orientación respecto a los esfuerzos principales.

En el proyecto La Josefina (FOMICRUZ S.E. y Cerro Cazador S.A.) se encuentran mineralizaciones epitermales vetiformes con metales preciosos alojadas en vulcanitas jurásicas. Este proyecto se localiza en la porción central del macizo del Deseado (Fig. 1). Está limitado por los meridianos 69° 15' y 69° 30' de longitud oeste y los paralelos 47°45' y 47°59' de latitud sur.

El objetivo de este trabajo es determinar

la dirección de los esfuerzos principales cuando se generaron los depósitos vetiformes, delinear la evolución del sistema de deformación y finalmente arribar a un modelo estructural para las mineralizaciones del proyecto La Josefina.

Este análisis estructural se ha basado principalmente en mapeos geológicos de detalle y observaciones realizadas en trincheras de exploración y testigos de perforaciones, a los que se sumó la información geológica pre-existente.

El estudio se orientó con el fin de elaborar guías para futuros trabajos de exploración, ya que el reconocimiento del marco estructural es un elemento de importancia en el estudio de los depósitos epitermales (Hedenquist *et al.* 2000).

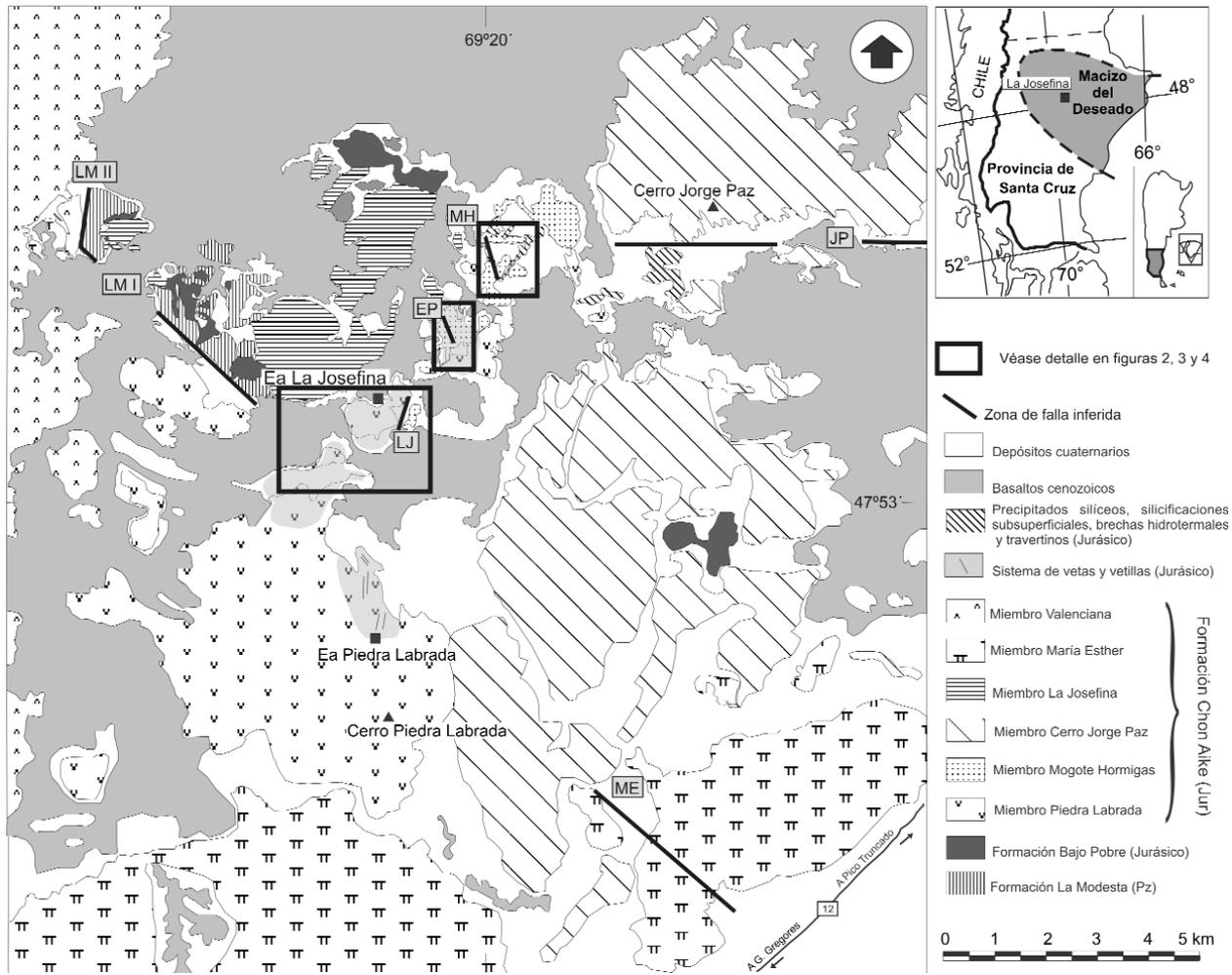


Figura 1: Localización y geología del proyecto La Josefina (simplificado de Moreira 2005), donde se representan las siete zonas de falla estudiadas en este trabajo (LM I: La Modesta I, LM II: La Modesta II, JP: Jorge Paz, MH: Mogote Hormigas, EP: El Peñón, LJ: La Josefina y ME: María Esther).

Los resultados obtenidos forman parte del trabajo de tesis doctoral, que uno de los autores (PM) realizó en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

PRINCIPALES SISTEMAS DE FRACTURACIÓN DEL MACIZO DEL DESEADO

Los principales sistemas de fracturación en el macizo del Deseado se originaron (o reactivaron) a partir de la tectónica relacionada con el desmembramiento del sur de Gondwana y la apertura del Atlántico, produciendo una deformación de las rocas por la combinación de la subducción del margen convergente al oeste y por los estadios de *rift* temprano

durante la apertura del Atlántico sur al este (Reimer *et al.* 1996).

Coetáneo con el desarrollo del volcanismo Jurásico medio a superior predominó un régimen extensional, activo desde el Triásico tardío, generando un sistema de *rift* compuesto por hemigrábenes controlados por fallas principales normales, de alto ángulo y de rumbo NO (Homoc y Constantini 2001).

Dubé (1997) postuló que las mineralizaciones vetiformes más importantes del Macizo del Deseado, son el producto de zonas de cizalla sinestrales que están relacionadas fundamentalmente a fallas de dirección NO. Por otra parte, este autor sostiene que la dirección ONO a E-O de fallas de rumbo dextrales representa un segundo control en la mineralización, tal

como se puede ver en estructuras de Manantial Espejo y Cerro Vanguardia. Echavarría *et al.* (2005) indican que estructuras con rumbo ENE a E-O, producto de fallas de rumbo dextrales, por lo general generan mineralizaciones discontinuas y delgadas, con diseño en *échelon*, de menor importancia económica.

En el cuadro 1, se resumen los principales sistemas de fracturas definidos para esta provincia geológica.

GEOLOGÍA LOCAL

En el proyecto La Josefina (Fig. 1), las rocas más antiguas aflorantes corresponden a metamorfitas de bajo grado de la Formación La Modesta (Pezzi 1970), representadas por esquistos, metacuarcitas,

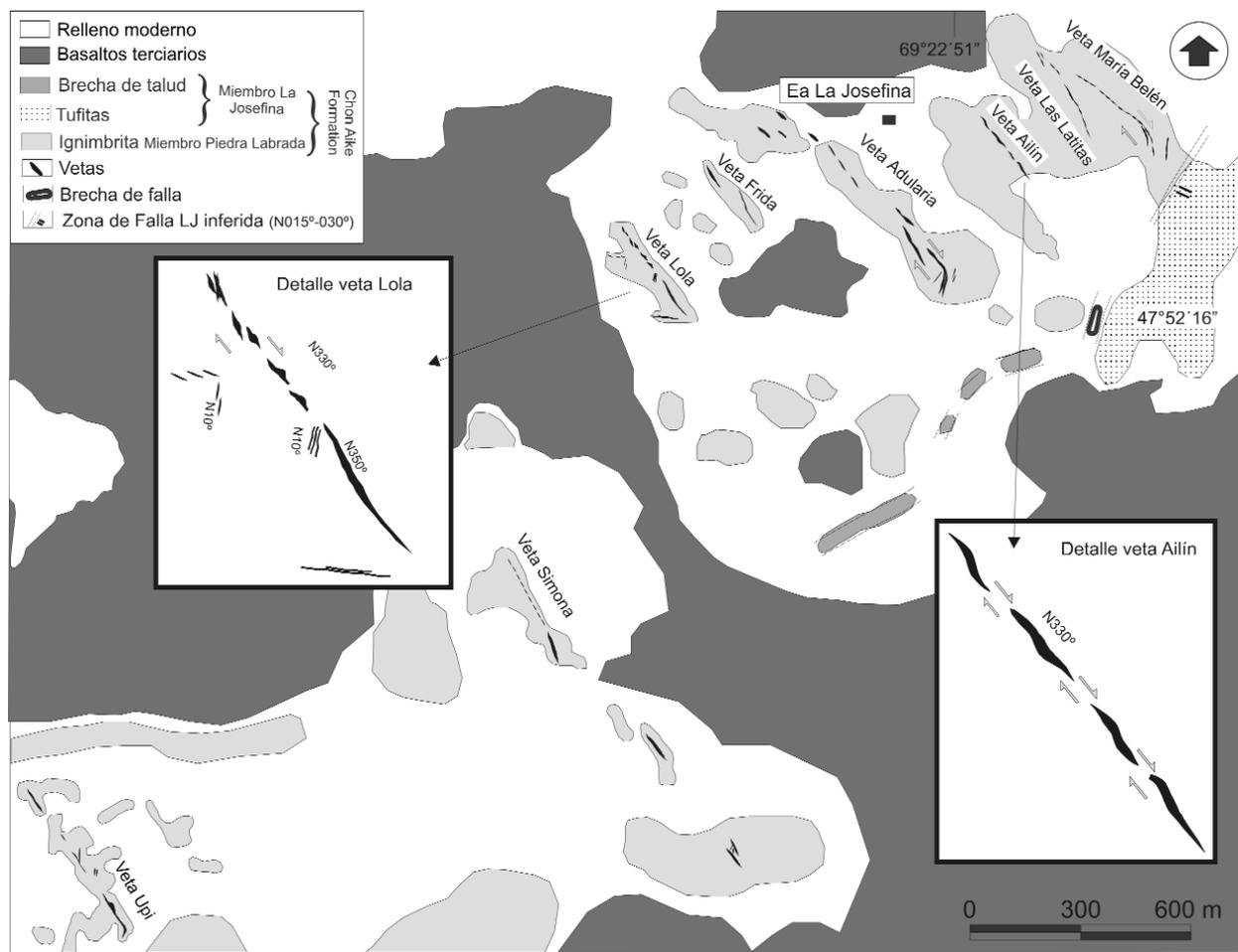


Figura 2: Mapa geológico de las vetas del sector central del proyecto La Josefina, que incluye a la zona de falla LJ.

rocas calcosilicáticas, metavolcanitas mesosilícicas, turmalinitas y bancos de óxidos de Fe y Mn de edad paleozoica (Moreira *et al.* 2005). Estas rocas se disponen en dos pequeños afloramientos separados entre sí por una colada de basalto cuaternario que cubre las zonas bajas. El asomo occidental conforma una faja N-S de aproximadamente 2 km de largo y 500 m de ancho promedio. El afloramiento oriental es una faja de rumbo NO de 4 km que se encuentra aproximadamente a 3 km al oeste del casco de la estancia La Josefina.

El evento geológico mejor representado en el área es el volcanismo jurásico calcoalcalino correspondiente a la Formación Chon Aike (Stipanich y Reig 1957) y a la Formación Bajo Pobre (Lesta y Ferello 1972). En el área de estudio, este volcanismo tuvo su clímax en el Jurásico supe-

rior (Oxfordiano), con eventos durante un período de aproximadamente 4 Ma (Moreira 2005).

Los asomos de las volcanitas ácidas de la Formación Chon Aike, son los más importantes en extensión areal. Esta unidad ha sido dividida en 6 miembros y a su vez, las litologías que componen cada uno fueron subdivididas con un enfoque litofacial de sucesiones volcánicas (Moreira 2005). Se trata de rocas riolíticas a riodacíticas en las que se determinaron por una parte, subfacies lávicas (coladas y domos) dentro de las facies magmáticas, y por otra parte, facies volcanoclásticas que comprenden a las subfacies piroclástica de flujo (ignimbritas, ignimbritas brechosas, brechas coignimbríticas, tobas lapilíticas y depósitos de bloques y cenizas), subfacies piroclástica de caída (tobas), subfacies piroclástica de surge y a la

subfacies volcanoclástica retrabajada (tufitas y brechas).

Las rocas de la Formación Bajo Pobre conforman una asociación de facies magmáticas mesosilícicas, dentro de las que se identificaron subfacies lávicas (coladas y domos) y subfacies subvolcánicas (filones capa, diques y pórfidos), en bastante menor proporción subfacies volcanoclásticas (aglomerado volcánico).

Las mineralizaciones epitermales de metales preciosos, corresponden a sistemas de vetas y vetillas de cuarzo que se alojan en una faja de alteración hidrotermal (10 x 1 km) de rocas de la Formación Chon Aike (Del Blanco *et al.* 1994, Fernández *et al.* 1996, Moreira 2005, entre otros). En el noreste del proyecto se identificaron manifestaciones superficiales del sistema geotermal tales como precipitados silíceos y travertino así como también brechas

de erupción hidrotermal y alteraciones provocadas por fluidos ácidos (Echeveste *et al.* 1995, Rolando y Fernández 1996, Moreira *et al.* 2002, entre otros).

Finalmente se presentan extensas coladas de basaltos cenozoicos, fundamentalmente de la Formación La Angelita (Panza 1982) y asomos más reducidos de la Formación Cerro del Doce (Panza 1982) y depósitos cuaternarios.

ZONAS DE FALLA

La realización de un estudio estructural en el macizo del Deseado es una tarea compleja ya que la espesa cobertura de rocas del Cretácico superior a Cuaternario oculta la mayoría de las evidencias de estructuras previas. Predomina la deformación frágil, en donde las fallas son de difícil observación directa. Muchas de ellas se corresponden con lineamientos en imágenes y fotos aéreas y en el campo fueron corroboradas por el desplazamiento que sufren algunos mantos de rocas piroclásticas de flujo considerados como guías, o también inferidas por escarpas, brechas tectónicas con alteración hidrotermal y/o rellenos silíceos y muy ocasionalmente por la presencia de espejos de fricción. En algunas ocasiones estos rasgos se alinean en el terreno según una orientación definida. En la mayoría de los casos no es posible observar la inclinación del plano de falla y el movimiento relativo de los bloques, por lo que son escasas las posibilidades de realizar mediciones en el campo sobre las estructuras (inclinación, estrías, movimientos relativos, etc.) y sólo puede determinarse su rumbo.

En el proyecto La Josefina, a partir de los mapeos realizados se definieron siete zonas de falla (Fig. 1), que se describen a continuación:

Zona de falla La Modesta I (LM I): relacionada con los altos estructurales que conforman las rocas de la Formación La Modesta. Se trata de una escarpa de aproximadamente 3,5 km de longitud y rumbo NO (N 330°) que lleva asociada brechas tectónicas. Moreira *et al.* (2005) regis-

CUADRO 1: Resumen de los principales sistemas de fracturación definidos para el macizo del Deseado y para el proyecto La Josefina.

SISTEMA	Dirección principal (movimiento relativo)	Dirección conjugada (movimiento relativo)	Edad	Comentarios	Referencias
El Tranquilo	325° (hl)	60° (hd)	Jurásico tardío	Macizo del Deseado	Panza (1982)
	340°	65°			Fernández <i>et al.</i> (1996)
	325°-335°	?		área La Josefina	Marchionni <i>et al.</i> (1997)
Bajo Grande	295° (hl)	35° (hd)	Cretácico temprano	c/componente vertical	Panza (1982)
	302°	36°		Macizo del Deseado	Fernández <i>et al.</i> (1996)
	?	25°-35°		poco desarrollado	Marchionni <i>et al.</i> (1997)
La Frisia	340° (hl)	290° (hd)	Caloviano-Oxfordiano	Macizo del Deseado	Reimer <i>et al.</i> (1996)
	350° (hd)	40° (hl)			
Zanjón del Pescado	15° (hl)	325° (hd)	Post-Oxfordiano?		
Río Pinturas	10°	90°	Cretácico temprano.	Noroeste Macizo del Deseado	De Barrio (1989)
Bahía Laura	90°	NNE		Sector oriental Macizo del Deseado	Guido (2002)

hl: horizontal levógiro; hd: horizontal dextral

traron una zona de cizalla frágil a frágil-dúctil que es paralela a la escarpa y posterior al Devónico inferior (edad de la Formación La Modesta). En el Jurásico superior se produjeron reactivaciones de esta zona de falla evidenciadas por el emplazamiento de complejos de domos lávicos de las Formaciones Chon Aike y Bajo Pobre. No se pudo determinar con precisión la cinemática de esta zona de falla pero se interpreta que como en el bloque noreste aflora basamento metamórfico, se trata de un bloque de falla elevado y por lo tanto el labio de esta falla estaría hundido hacia el suroeste.

Zona de falla La Modesta II (LM II): relacionada a las rocas de la Formación La Modesta, tiene una longitud de alrededor de 2 km, un rumbo N-S a ligeramente NNE (N 010° a 015°). Afecta el sector oeste de los afloramientos de las metamorfitas plegadas (Moreira *et al.* 2005). No se han encontrado evidencias estructurales suficientes que permitan interpretarla como una zona de cizalla frágil a frágil-dúctil pero tiene algunas características semejantes respecto de LM I y se interpreta, al igual que la anterior, como una zona de falla con el bloque bajo hundido hacia el oeste.

Zona de falla La Josefina (LJ): se ubica a unos 800 metros al sureste del casco de la estancia homónima; tiene rumbo N 015 a N 030° y sus evidencias se manifiestan en unos 1000 m de corrida por 50 a 100 m de ancho (Fig. 2). En esta, se registran asomos de brecha de falla con textura clasto-sostenida, con ajuste tipo "rompecabezas", compuesta por clastos de ignimbrita de tamaño variable (por lo general superiores a 1 m³) rodeados por matriz muy fina, producto de trituración de la misma roca. A partir de su textura se interpreta que podría tratarse de una brecha de implosión coincidente con un área extensional de la zona de falla. El contacto de bloques con distintas litologías se han confirmado a partir del contraste en la respuesta geofísica de resistividad (Tesson *et al.* 2005). La disposición de asomos de brechas de talud y niveles tuffíticos, estarían indicando el relleno del bloque bajo. Esta zona de falla coincide con la parte central de un lineamiento magnético de rumbo NNE (Peñalva *et al.* 2005). *Zona de falla María Esther (ME):* se localiza al sureste del casco de la estancia La Josefina, está representada por una gran escarpa de falla de dirección N330° continua por unos 4 km, y asociada a brechas

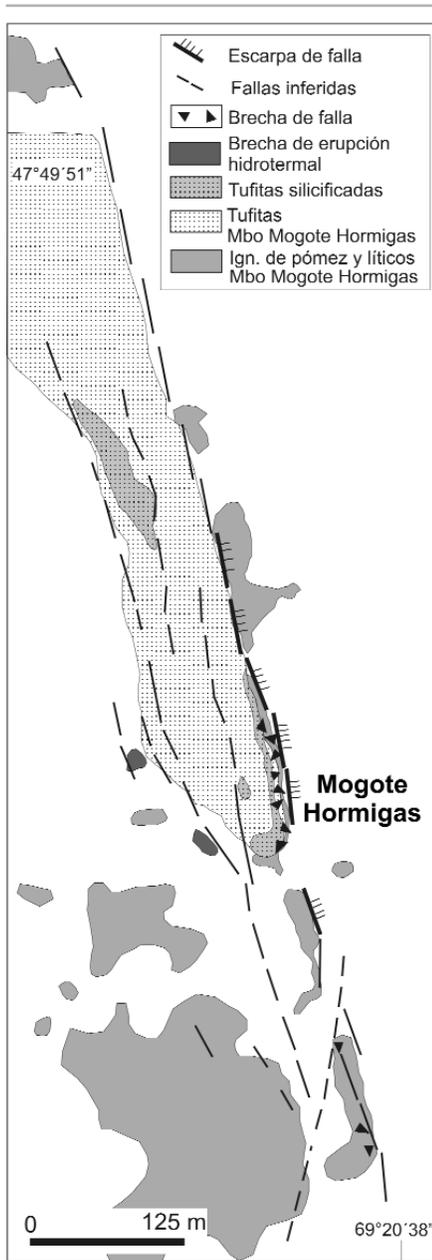


Figura 3: Mapa geológico de la zona de falla MH.

tectónicas que afecta a ignimbritas y lavas del Miembro María Esther. Esta escarpa estaría relacionada con un fallamiento subvertical evidenciado por algunas estrías, no obstante hay planos con estrías que indicarían una componente horizontal.

Zona de falla Jorge Paz (JP): se integra con varios asomos de brechas de talud situados al pie del cerro Jorge Paz alineados con una orientación E-O y numerosos planos de diaclasas de igual rumbo en las

ignimbritas de ladera sur de esta elevación, los que se interpretan asociados a una zona de falla con esa orientación. La presencia de travertinos, precipitados silíceos y sedimentos lacustres depositados en bajos topográficos, sugieren la posición del bloque bajo hacia el sur. Esta zona de falla coincide con un lineamiento magnético con rumbo ONO (Peñalva *et al.* 2005).

Zona de falla Mogote Hormigas (MH): se ubica en el sector noreste del área, la falla principal de orientación N 345°, conforma una pequeña escarpa de aproximadamente 700 m de largo que alcanza un máximo desnivel de unos 5 metros (Fig. 3). Hay varias fallas menores subparalelas de rumbo NNO por lo general verticales a subverticales. Asimismo, se encontraron fallas de orientación NE que parecen estar afectando a las anteriores.

Las rocas de esta zona intensamente diaclasadas y las fallas se encuentran asociadas a brechas constituidas por pequeños fragmentos angulosos en matriz trituradora, acompañadas de silicificación, argilización, y en menor medida piritización, de variada intensidad. Algunas de estas brechas están mineralizadas y llevan leyes muy elevadas que alcanzan valores de hasta 575 g Au/t y 113 g Ag/t (Fernández *et al.* 2005).

No se halló ninguna evidencia sobre la dirección y sentido del desplazamiento dominante, no obstante sobre la base de los reconocimientos efectuados, se la interpretó como una zona extensional. A esta zona de falla se vincula una cubeta rellena por una secuencia sedimentaria y volcánicla, con manifestaciones hidrotermales superficiales de un espesor máximo del orden de los 50 m. Según Fernández *et al.* (2005), inclinaciones de alto ángulo de la estratificación y deslizamientos interstratales de estos depósitos fueron ocasionados por la depositación contemporánea con el fallamiento.

Zona de falla El Peñón (EP): se presenta en uno de los sectores de vetas donde se realizaron los trabajos de mapeo de mayor detalle (Fig. 4). Comprende un área de unos 170 metros en sentido NNO y

alrededor de 30 metros de ancho. En ella se localizan, en afloramientos discontinuos, numerosas vetas y vetillas portadoras de mineralización, con orientaciones NNO (predominantes) a N-S con inclinaciones desde sub-verticales a mayores de 50° al Este; en este sistema de rellenos también se registran vetas de dirección NNE (Fig.4). Fajas de rocas brechadas con intensidad variable de fragmentación, poseen orientaciones subparalelas a las de las vetas. Muchas de las vetas muestran estructura interna brechosa, producto de sucesivos pulsos de rotura y relleno.

Un sistema de fallas tardías, de rumbo ONO, desplazan a las vetas y vetillas, con un comportamiento dextrógiro y desplazamientos del orden de una decena de metros. Cuando el ángulo de intersección entre estas fallas y los rellenos vetiformes es pequeño, se produce intenso cizallamiento y una compleja mezcla de cada uno de sus componentes.

Estas dos últimas zonas de falla (MH y EP) están entre dos lineamientos magnéticos regionales subparalelos de rumbo NNE (Peñalva *et al.* 2005).

MORFOLOGÍA DE LAS VETAS

Las principales mineralizaciones en el proyecto La Josefina están representadas por un conjunto de vetas y vetillas de cuarzo portadoras de metales preciosos que se alojan en rocas jurásicas de la Formación Chon Aike.

La presencia de indicadores cinemáticos en estas vetas resultó bastante escasa, solo se reconocieron algunas estrías que por lo aisladas y variables en cuanto a su rumbo e inclinación hicieron poco representativa su interpretación. El análisis estructural de las vetas se basó en el cambio (o no) de sus orientaciones, inclinaciones y espesores.

La mayoría de las vetas del proyecto La Josefina tienen un rumbo principalmente de dirección NO, son subverticales o se presentan fuertemente inclinando al este. Algunas, están conformadas por peque-

ños cuerpos discontinuos, de aspecto brechoso y morfología lentiforme. Otras están compuestas por conjuntos de vetillas entrelazadas, donde las de menor espesor generalmente tienen una orientación oblicua (NE y N) y las de mayor espesor son NO. En los alrededores del casco de la estancia Piedra Labrada (sur del área estudiada), se reconocieron algunos conjuntos de vetillas que forman escasas vetas, muy discontinuas y delgadas, de orientaciones N-S a N 030°. Estas últimas, tienen menor importancia económica que los sectores más septentrionales del proyecto estudiado.

Los sectores más explorados por metales preciosos son los sectores denominados central y Veta Norte (Fig. 1). En estos sectores se realizaron mapeos de detalle (Figs. 2 y 4) y se confeccionaron diagramas de rosa del rumbo de las vetas (Figs. 5 y 6 a y b).

En el sector central se reconocieron 8 vetas, alojadas en ignimbritas ricas en cristales del Miembro Piedra Labrada, el más antiguo de la Formación Chon Aike en el proyecto La Josefina (Fig. 2).

La veta Upi está formada por cuerpos discontinuos con rumbo N330° acompañados por vetillas de orientación N a NNE que ocasionalmente forman stockworks de hasta 2 metros de espesor.

La veta Simona es una estructura discontinua con rumbo general N330°. Su porción norte está compuesta por floats de igual rumbo que terminan en un cuerpo de orientación N340° y de 1,2 metros de espesor. La parte central está compuesta por un cuerpo N320° de 1,5 metros de espesor y la porción sur por dos splays N330° separados por un sistema de vetillas N y NNE.

La veta Lola está constituida por abundantes y pequeños cuerpos de hasta 1 metro de espesor con rumbo N330° que se han emplazado en estructuras extensionales de tipo releasing bends con forma de Z (véase detalle de la Fig. 2). Llevan asociados sistemas de vetillas escalonadas de orientación N330° y otras de rumbo N10° y N300°

La veta Frida comienza en el norte con

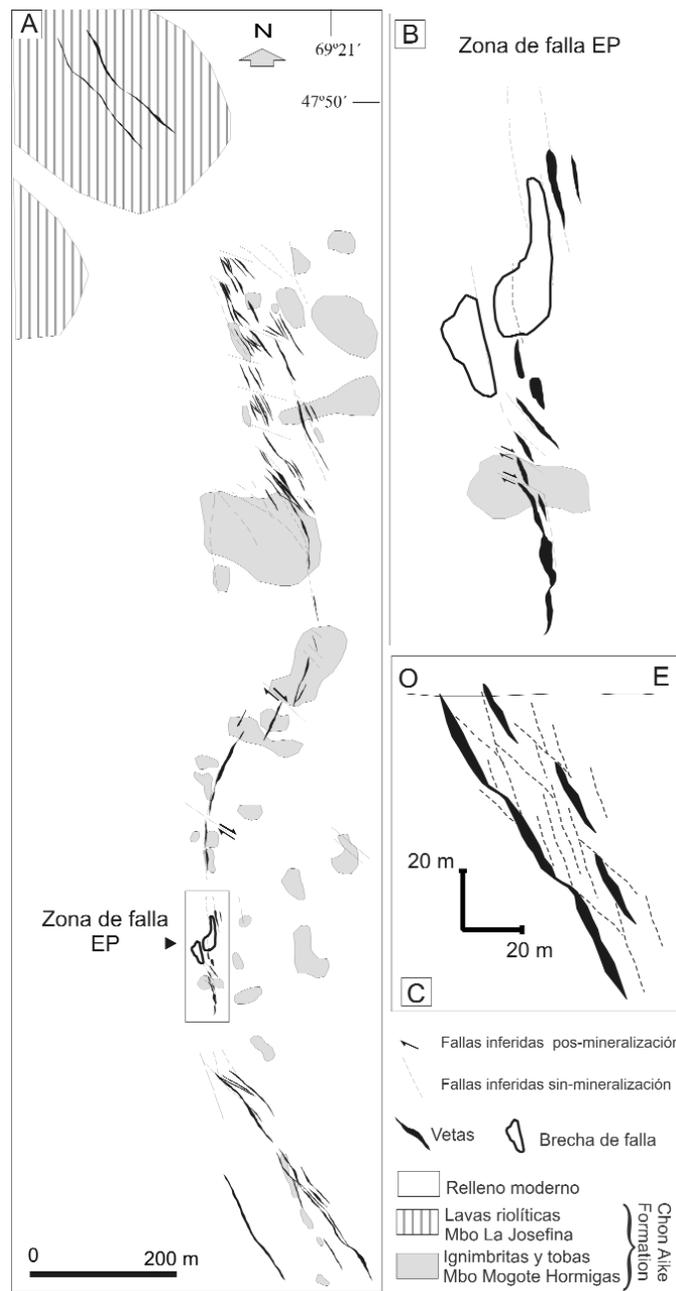


Figura 4: a) Mapa geológico del sector Veta Norte; b) Detalle de zona de falla EP; c) Perfil esquemático que muestra la disposición de las vetas del sector Veta Norte en profundidad a partir de la información obtenida de los testigos de perforación.

un conjunto de vetillas de rumbo N330° que tienen entre 2 y 3 centímetros de espesor; luego sigue un cuerpo brechoso de igual orientación que se extiende a lo largo de unos 5 m con una potencia máxima de 2 m, que contiene vetillas de rumbo N330°, N290° y N320°. Al sur se presenta el cuerpo de mayores dimensiones (24 m de largo por 25 cm de espesor promedio) que tiene una orientación N350° y que se continúa a lo largo de unos 10 m en *floats* alineados en unos 50 cm de

ancho.

La veta Adularia tiene una orientación general NO. Al norte está conformada por una serie de cuerpos de rumbo N-330° que tienen espesores variables entre 0,3 y 1,5 m y que hacia el sudoeste se ramifican en una serie de vetillas N290° y N-S. Continúa en tres cuerpos, el primero de rumbo variable entre N308° y N 320°, otro de orientación N334° con un espesor máximo en su porción central de 0,4 metros y se adelgaza hacia el sur y el

tercero, de menores dimensiones, corresponde a una silicificación con vetillas de orientación N a N10°, rellenando ramificaciones extensionales en cola de caballo (*horsetail splays*).

La veta Ailín está compuesta por cuerpos discontinuos de rumbo N330°. Los dos más septentrionales son de aproximadamente 15 x 0,5 m y se continúan en un cuerpo conformado por un conjunto de vetillas con anchos de 15 a 50 centímetros. El cuerpo sur es el principal, tiene una inclinación al este y un espesor promedio de 1 metro. En su conjunto estos cuerpos rellenan estructuras extensionales de tipo releasing bends con forma de Z (véase detalle de la Fig. 2).

La veta Las Latitas está conformada en su parte norte por dos ramas de orientación N330° de entre 0,1 a 0,7 m de espesor. El cuerpo principal tiene rumbo N340° y un ancho promedio de 0,5 metros que continúa hacia el sur en un conjunto de delgadas vetillas.

La veta María Belén se compone por cuerpos discontinuos N330° de hasta 30 metros de largo con un ancho máximo de 0,7 m, luego le siguen abundantes floats y termina en el cuerpo principal de orientación N310° y espesor máximo de 1,2 m, que se ramifica y se torna N-S en su porción sur, donde se interpreta que fue emplazada en una terminación extensional en cola de caballo (*horsetail splays*). En el sector Veta Norte se determinó una estructura mineralizada de forma sigmoidal de aproximadamente un kilómetro de largo alojada en ignimbritas ricas en pómez y tobas del Miembro Mogote Hormigas, con excepción de la porción norte, cuya roca de caja son lavas riolíticas del Miembro La Josefina, ambos de la Formación Chon Aike (Fig. 4). A continuación se describe esta estructura de norte a sur.

La porción más septentrional consiste en dos grupos alargados de delgadas vetas (en parte representadas por floats) que se extienden con rumbo N330° que tienen entre 0,1 a 0,5 metros de espesor y una inclinación de 75° al noreste.

Luego se presenta una serie de numero-

sos cuerpos de rumbo N330-340°, con inclinaciones desde verticales a 60° al NE. Los cuerpos, en ocasiones de disposición escalonada, tienen largos de hasta 30 m y espesores individuales de entre 0,9 a 3,5 metros. Están asociados lateralmente a sistemas de vetillas, que en conjunto suman anchos de hasta 30 metros. Hacia el sur hay una serie de cuerpos de orientación ~ N-S y menor desarrollo. A lo largo de los siguientes 115 metros, se encuentran una serie de cuerpos de rumbo N10° a 50° con 0,5 a un metro de ancho e inclinaciones que van de verticales a 70° al este.

A lo largo de los 180 metros siguientes, se encontraron cuerpos de orientación general N-S y con anchos máximos de hasta 3 m que están asociados a la zona de falla EP descrita precedentemente. Finalmente en la porción sur, se presentan una serie de numerosos y pequeños cuerpos que forman dos ramas de orientación variable entre N320° a N342°, de hasta tres metros de espesor, con inclinaciones que van de verticales a 70° al este y asociados a numerosas vetillas escalonadas de rumbo NO.

A partir de la información sintetizada en los diagramas de rosa para cada sector, se encontró que las direcciones más favorables para el desarrollo de estructuras mineralizadas son NO (N300-340°), N (N350-010°) y NNE (N020-030°), con un predominio de la orientación N330-340° (Figs. 5 a y b).

En los diagramas de rosa presentados por Fernández *et al.* (1996) para los lineamientos del proyecto La Josefina, se destaca la dirección N330° a 340° a la que le sigue la N020° a N030°, y una dirección menos marcada N290° a 300° (Fig. 7 a). En el sector sudeste (cercañas de casco de estancia Piedra Labrada), se identificaron estos mismos lineamientos aunque con leves modificación en los rumbos, predominan los de orientación N030°, le siguen los de orientación N330 a 340° y finalmente escasos N280° (Fig. 7 b). En el mapeo detallado se observa que estas direcciones se repiten en todos los sectores con mineralizaciones.

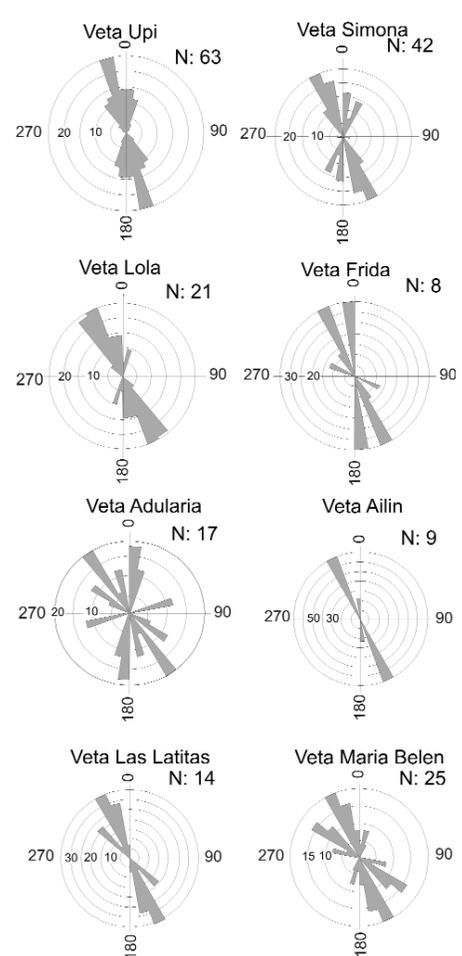


Figura 5: Diagramas de rosa de rumbo de las vetas del sector central, realizados a partir de las orientaciones medidas en los diferentes sistemas de vetas. N: número de mediciones realizadas.

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

En el proyecto La Josefina, al igual que en todo el macizo del Deseado, posiblemente las fracturas de basamento prejurásico, poco conocidas hasta el momento, jugaron un control fundamental en el desarrollo del fallamiento posterior vinculado con la tectónica extensional mesozoica.

En el sector estudiado las evidencias de estas estructuras no son claras. Moreira *et al.* (2005) proponen que posiblemente el final del ciclo orogénico famatiniano (Paleozoico inferior) o el comienzo del ciclo gondwánico, estaría representado por los protolitos sedimentarios y volcánicos de-

positados en una cuenca de antearco y ahora conforman las rocas de la Formación La Modesta (edad silúrica superior-devónica inferior). Asimismo, la discordancia angular que separa a estas rocas de las unidades suprayacentes del Jurásico, se asigna a una fase orogénica del Paleozoico, cuya ubicación temporal no se conoce claramente pero posiblemente haya tenido lugar cuando se desarrolló el metamorfismo y la deformación de las rocas de la Formación La Modesta.

Se interpreta que la zona de falla LM I (N330°), y con dudas la zona de falla LM II (N010° a 015°), que limitan los bloques de las metamorfitas de la Formación La Modesta son posiblemente el resultado de reactivaciones de estructuras pre-jurásicas.

Las vetas más abundantes y de mayores espesores, son de rumbo N330° a 350°. Sobre la base de la orientación de codos, vetillas escalonadas y ramificaciones en colas de caballo, encontradas en las distintas vetas, se interpreta que el comportamiento de las fallas en donde se emplazaron dichas vetas, es de tipo dextrógiro. Las zonas de falla EP y ME y fracturas menores asociadas, con similar orientación que las vetas, también se interpretan como evidencias de estas falla de orientación NO.

La zona de falla MH, de rumbo N345°, coincide con los anteriores y podría tratarse de parte de una cuenca de tipo pull-apart a pequeña escala, con descargas de fluidos hidrotermales en superficie o niveles sub-superficiales.

Las vetas de orientaciones N a NNE son menos abundantes que las de dirección NNO y en general son las de espesores individuales menores.

En función de las orientaciones, espesores y abundancia de las vetas, se determina un campo de esfuerzos para originar estas estructuras, en donde la dirección del esfuerzo máximo compresivo (σ_1) es aproximadamente N340° a N y la dirección de extensión (σ_3) cercana a N070° a 080° (Fig. 8). A partir de esta propuesta, las orientaciones NO a NNO serían las más favorables para el desarrollo de las

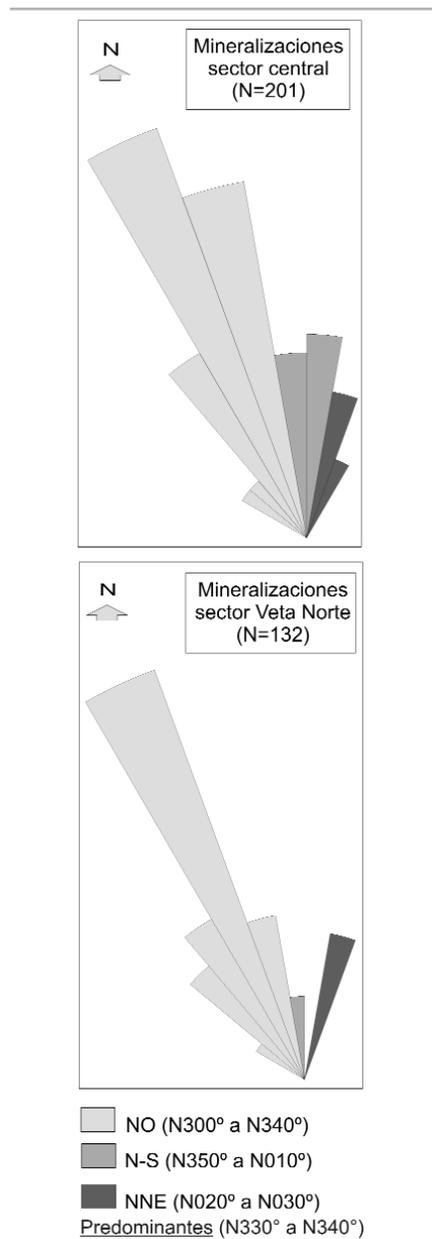


Figura 6: a) Diagrama de rosas de rumbo del conjunto de vetas del sector central; b) Diagrama de rosas de rumbo de las mineralizaciones del sector Veta Norte. N: número de mediciones realizadas.

vetas, mientras que las direcciones N a N030° estarían ubicadas de forma más oblicua con respecto a σ_1 , por lo que su desarrollo fue menor.

El campo de esfuerzo propuesto, coincide con cizallas regionales de orientación NNE (~ N030°) de comportamiento sinistral (Fig. 8). Esta interpretación está de acuerdo con la estructuración reconocida por Peñalva *et al.* (2005) a través de

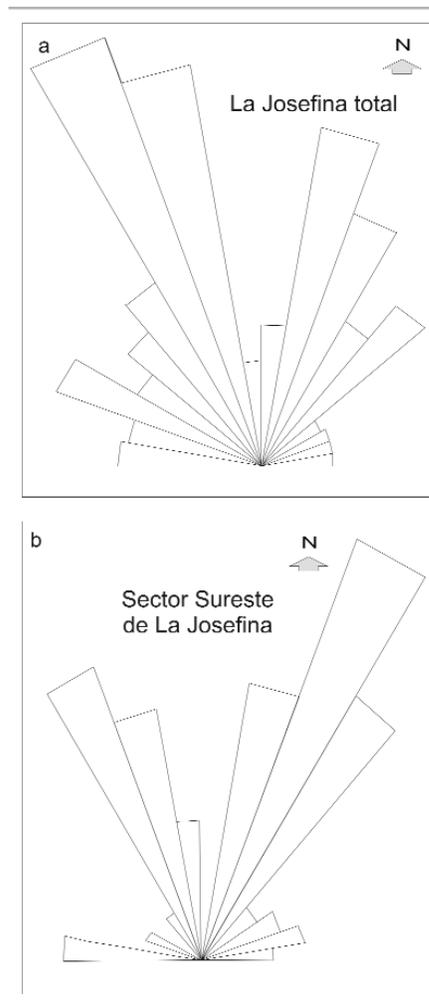


Figura 7: Diagramas de rosa de lineamientos (Modificado de Fernández *et al.* 1996). a) Proyecto La Josefina; b) sector sureste del proyecto La Josefina.

la información geofísica. La zona de falla LJ de igual orientación, así como también los sets de fracturas de igual rumbo que afectan a otros sectores (por ejemplo, MH y VN) y la morfología sigmoidal del sector Veta Norte, son claras manifestaciones, a menor escala, de estas cizallas. No se han observado estructuras contraccionales en el área La Josefina, pero de haberse generado según el modelo propuesto, deberían estar orientadas con un rumbo aproximado E-O. La zona de falla JP, que coincide con esta orientación, se podría interpretar como una falla compresiva. Si bien en el campo no se encontraron evidencias del plano de falla, se interpreta el labio bajo hacia el sur a partir de los depósitos lacustres que se

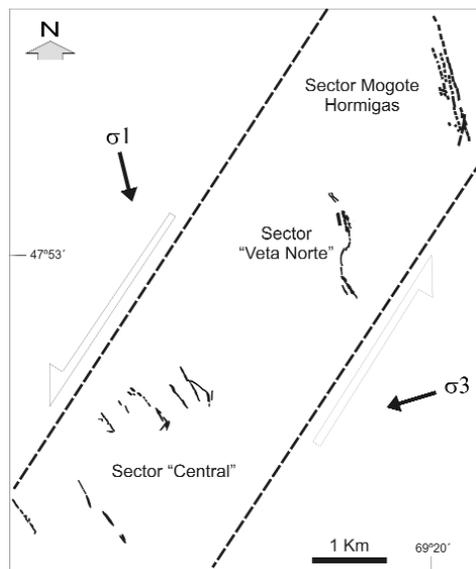


Figura 8: Modelo estructural propuesto para las mineralizaciones vetiformes del proyecto La Josefina. En trazo negro se representan las vetas y zona de falla MH de forma simplificada.

generaron en un bajo topográfico interpretado como bajo estructural.

Fundamentalmente en el sector Veta Norte, cortando y desplazando algunas decenas de metros a algunos tramos de la estructura con forma sigmoide, se encontraron fallas de orientación ONO. A partir de los desplazamientos observados se interpreta a estas fallas como dextrógiros (Fig. 4).

Las direcciones NO y NNE determinadas para las zonas de fallas que limitan los bloques de Formación La Modesta (LM I y LM II) coinciden con las orientaciones estudiadas para las vetas, aunque con dudas, se propone en este trabajo que, podrían interpretarse como direcciones del basamento reactivadas.

Como se expuso anteriormente en el área La Josefina el volcanismo tuvo lugar en el Jurásico superior (Oxfordiano) durante un lapso de tiempo de aproximadamente 4 Ma (Moreira 2005). Si consideramos que las mineralizaciones se emplazaron en las unidades más antiguas de volcánicas de esta edad (Miembros Piedra Labrada y Mogote Hormigas), y siguiendo los criterios de Fernández *et al.* (1999), se interpreta un importante traslapamiento temporal entre volcánicas, mineralización, y por lo tanto de los esfuerzos principales que generaron las estructuras en las que se emplazaron las vetas.

En cuanto a los sistemas de fracturación

descritos para el macizo del Deseado (Cuadro 1), se observa que las direcciones principales de rumbo NO del proyecto La Josefina, son coincidentes con la dirección conjugada del sistema Zanjón de Pescado definido por Reimer *et al.* (1996) y con la dirección principal del sistema El Tranquilo determinado por Panza (1982). Las direcciones NNE coinciden con la dirección principal propuesta por Reimer *et al.* (1996) para el sistema Zanjón de Pescado. Asimismo la zona de falla JP de rumbo aproximado E-O, concuerda con la dirección de fracturación conjugada del sistema Río Pinturas y con la principal del Bahía Laura propuestos por de Barrio (1989) y Guido (2002), respectivamente.

CONCLUSIONES

El análisis estructural de las mineralizaciones vetiformes vinculadas al volcanismo jurásico del proyecto La Josefina en la provincia geológica macizo del Deseado, apoya la hipótesis que señala que los emplazamientos magmáticos están controlados por las fracturas producidas en el ambiente extensional jurásico.

Las mineralizaciones se emplazaron principalmente en fallas de orientación predominantemente NO y comportamiento dextrógiro. Principalmente, las curvaturas de estas fallas permitieron la forma-

ción de clavos mineralizados.

El modelo propuesto para el campo de esfuerzos que originó estas estructuras, tendría un esfuerzo máximo compresivo (σ_1) de rumbo aproximadamente N 340° a N y una dirección de extensión (σ_3) cercana a N 070° a 080°. Este campo de esfuerzos, coincide con cizallas regionales de orientación NNE (~ N030°) de comportamiento sinistral.

Las estructuras descritas para los sistemas de vetas y vetillas del proyecto La Josefina, son las que caracterizan a los depósitos epitermales, que poseen un fuerte control estructural, relacionados a sistemas de fallas en un ambiente extensional.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación PID 32/98: "Investigación metalogénica por metales preciosos (oro, plata) en los sectores oriental y noroccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz", financiado conjuntamente por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y la empresa minera estatal FOMICRUZ S.E. Al CONICET por la beca para realizar la tesis doctoral otorgada a PM. Parte de este trabajo fue presentado en la 13° Reunión de Tectónica, realizada en San Luis en el año 2006.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- de Barrio, R. 1989. Aspectos geológicos y geoquímicos de la Formación Chon Aike (Grupo Bahía Laura) en el noroeste de la provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 528, 179 p., La Plata.
- Del Blanco, M., Echavarría, L., Echeveste, H., Etcheverry, M., Tessone, M. y Mondelo, R. 1994. Estancia La Josefina, un nuevo prospecto aurífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Encuentro Internacional de Minería, Actas 1: 93-99, Buenos Aires.
- Dubé B. 1997. Low sulphidation gold mineralization in the Jurassic Deseado Massif, Santa

- Cruz province, South Argentina. Mission Report, (Inédito), 57 p.
- Echavarría, L. 1997. Estudio geológico-minero del área El Dorado-Montserrat, Departamento Magallanes, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 221 p., La Plata.
- Echavarría, L.E., Schalamuk, I.B. y Etcheverry, R. O. 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 415-432.
- Echeveste, H., Echavarría, L. y Tessone, M. 1995. Prospecto aurífero "La Josefina", un sistema hidrotermal tipo Hot Spring, Santa Cruz, Argentina. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 414-425, Buenos Aires.
- Fernández, R., Echeveste, H., Echavarría, L. y Schalamuk, I. 1996. Control volcánico y tectónico de la Mineralización epitermal del Área La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 13 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 41-54, Buenos Aires.
- Fernández, R., Echeveste, H., Tassinari, C. y Schalamuk, I. 1999. Rb-Sr age of the La Josefina epithermal mineralization and its relation with host volcanic rocks, Macizo del Deseado, Santa Cruz Province, Argentina. 2° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Actas: 462-465, Córdoba
- Fernández, R., Pérez, D., Moreira, P., Andrada, P., Albornoz, S. y Penzo, H. 2005. Exploración de la "zona de fractura Mogote Hormigas", Prospecto La Josefina, Santa Cruz, Argentina. 16 Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 731-736, La Plata.
- Guido, D.M. 2002. Geología y Metalogénesis del Sector Oriental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 226 p., La Plata
- Hedenquist, J., Arribas, A. y González Urién, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology* 13: 245-278.
- Homoc, J.F. y Constantini, L.A. 2001. Hydrocarbon exploration potential within intraplate shear-related depocenters, Deseado and San Julian basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologists* 85(10): 1795-1816.
- Lesta, P. y Ferello, R. 1972. Región Extraandina del Chubut y Norte de Santa Cruz. *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias*, 21: 602-687, Córdoba.
- Marchionni, D. M., de Barrio, R. E. y Tessone, M. 1997. Aportes de la información de ERS-1 en el reconocimiento de rasgos estructurales del sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina, su implicancia metalogénica. Seminario Internacional: Uso y aplicaciones de ERS en América Latina, Actas: 133-141, Santiago.
- Moreira, P. 2005. Geología y Metalogénesis del Prospecto La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 360 p., La Plata.
- Moreira, P., Fernández, R., Schalamuk, I.A. y Etcheverry, R. 2002. Depósitos carbonáticos de hot spring relacionados a manifestaciones epitermales (Au-Ag), Distrito La Josefina. Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 324-329, Santa Cruz.
- Moreira, P., González, P., Fernández, R., Echeveste, H., Schalamuk, I. y Etcheverry, R. 2005. El basamento de bajo grado de las Estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(1): 49-63.
- Panza, J. L. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, Gobernador Moyano y 54e Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, (inédito), 197 p., Buenos Aires.
- Peñalva, G., Moreira, P. y Chernicoff, J. 2005. Interpretación geológica a partir de los datos geofísicos del área La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 807-814, La Plata.
- Petit, J. P. 1987. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *Journal of Structural Geology* 9(5/6): 597-608.
- Pezzi, E. 1970. Informe geológico zonas cerro Huemul y estancia la Josefina, Santa Cruz. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, (inédito), 157, 21 p., Buenos Aires.
- Reimer, W., Miller, H. y Mehl, H. 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeo-stress field of the South Patagonian Massif deduced from structural and remote sensing data. En Storey, B.C., King, E.C. y Livermore, R.A. (eds.) *Weddell Sea Tectonics and Gondwana Break-up*, Geological Society, Special Publication 108: 73-85, London.
- Rolando, P.A. y Fernández, R.R. 1996. Alteración hidrotermal del sector nor-oriental del prospecto epitermal La Josefina, Santa Cruz. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Publicación INREMI 5: 209-216, La Plata.
- Tessone, M., Echeveste, H., Moreira, P., Fernández, R., Schalamuk, I.B.A. y Albornoz, S. 2005. Exploración geoelectrica del sector central del área La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 799-806, La Plata.
- Schalamuk, I., Zubia, M., Genini, A. y Fernández, R. 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews* 12 (3): 173-186.
- Stipanovic, P. y Reig, A. 1957. El "Complejo Porfirico de la Patagonia Extraandina" y su fauna de anuros. *Acta Geológica Lilloana* 1: 185-297.

Recibido: 14 de noviembre, 2007

Aceptado: 25 de abril, 2008