

MINERALIZACIONES AUROARGENTÍFERAS EN EL ÁREA LA JOSEFINA, SANTA CRUZ

Isidoro Schalamuk¹⁻², Miguel A. Del Blanco¹, Raúl de Barrio¹,
Raúl R. Fernández¹⁻³, Ricardo Etcheverry¹⁻²,
Horacio J. Echeveste¹⁻³, Mario Tessone¹ y Daniela Marchionni¹⁻³

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

El prospecto La Josefina abarca un área situada en el sector suroeste del departamento Deseado, con las siguientes coordenadas geográficas: 47°49' a 47°55" de latitud sur y 69°18' a 69°26' de longitud oeste. Se accede a la misma, desde Gobernador Gregores, por la Ruta Provincial 12 que une a dicha localidad con Pico Truncado, por una distancia de 140 km, hasta arribar a la huella de acceso que conduce a las estancias La Josefina y Piedra Labrada. Desde allí se recorren 15 km al oeste y luego otros 10 km al suroeste, hasta el casco de la estancia Piedra Labrada y 5 km al noroeste, para acceder al de La Josefina.

LEYES, RESERVAS Y PRODUCCIÓN

El informe realizado por INREMI (1996) ha establecido un contenido promedio ponderado de Au/metro de estructura mineralizada que ha variado entre 1 y 3 g/t en Au, según el método de muestreo utilizado (esquirleo continuo en afloramientos y en trincheras), con tenores en Ag de 5 a 21 partes por millón. Los valores máximos obtenidos fueron de 93 ppm en Au (sector central del prospecto) y 235 ppm en plata (sector sur). Para los metales base, los contenidos de Cu varían entre 197 y 377 ppm, los de Pb lo hacen

entre 972 y 2.549 ppm y por último, para el Zn, la fluctuación es de 308 a 569 ppm, todos ellos ponderados al metro de muestreo.

Tomando en cuenta la longitud de las estructuras y la mitad de ancho muestreado, y suponiendo una continuidad de la estructura en profundidad hasta 50 m, se contabilizan unas 2.200.000 t de mineral. Ponderando de acuerdo a las leyes determinadas en distintos sectores del prospecto, se estiman 200.000 onzas de Au.

A nivel de recurso hipotético, teniendo en cuenta la potencial mineralización que puede existir en el sector noroeste (donde se encuentra un sinter silíceo y extensas áreas de alteración hidrotermal) y noroeste, donde se emplaza un cuerpo subvolcánico con una superficie total de 800 ha, se infirió la existencia de estructuras mineralizadas de pequeño y mediano tamaño, de 100.000 a 200.000 t, con leyes fluctuantes entre 3 y 10 g/t que alcanzarían un total de 1.000.000 de onzas de Au equivalente.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

DESCUBRIMIENTO Y TAREAS DE EXPLORACIÓN

Profesionales de la Secretaría de Minería de la Nación, delegación Patagonia (Viera y Márquez, 1975), describen a pocos metros al este del casco de la estancia La Josefina estructuras vetiformes de metales base, pertenecientes a una antigua manifestación mineral, denunciada como mina de Pb-Zn.

Posteriormente, en el año 1994, durante el desarrollo de un proyecto de investigación (Proyecto BID-CONICET) llevado a cabo por el Instituto de Recursos Minerales de la UNLP y profesionales del departamento de Geología de la Universidad de la Patagonia San Juan Bosco, se detectó en el área la presencia de fuertes anomalías auríferas.

¹ Universidad Nacional de La Plata, INREMI, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

² CONICET.

³ CICBA.

Inmediatamente, la zona pasa a constituir área de reserva de la empresa minera provincial Fomicruz S.E., quienes conjuntamente con el INREMI encararon un programa de exploración a nivel de superficie. Las primeras tareas prospectivas desarrolladas consistieron en un mapeo a escala 1:20.000 de la entonces área de reserva de Fomicruz S.E. Además sobre las estructuras mineralizadas y el sinter silíceo, se efectuó un relevamiento de detalle a escala 1:2.500.

La exploración preliminar del área fue efectuada mediante la realización de muestreos en esquirlas de las estructuras reconocidas, ejecución de laboreos superficiales (trincheras) y muestreos continuos en canaletas de las mismas, las que a su vez fueron mapeadas en detalle a escala 1:100 (INREMI, 1996)

Sobre los sectores de mayor interés se ejecutó un estudio geofísico para determinar la continuidad de las estructuras mineralizadas en profundidad, totalizándose 6.000 m de líneas de perfil geoelectrico con aplicación del método de polarización inducida (PI) con mediciones de resistividad y cargabilidad. Asimismo, se ejecutaron 5.750 m de perfilaje magnetométrico.

Más tarde, en el año 1998, a través de un proceso de licitación, el prospecto pasa en concesión a la empresa Minamerica, con el fin de ampliar su exploración.

PROPIETARIOS

El sector en cuestión, declarado área de reserva provincial por la empresa Fomicruz S.E. en el año 1994, fue presentado a licitación internacional y adjudicado a la empresa Minamerica para su exploración. Esta ha desarrollado distintos trabajos que consistieron principalmente en muestreos geoquímicos sistemáticos y perforaciones con testigos del orden de los 1.000 metros.

GEOLOGÍA REGIONAL

El Macizo del Deseado es una provincia morfoestructural cuyo desarrollo está consignado a partir del Precámbrico superior o Eopaleozoico, representado por metamorfitas de bajo a mediano grado, que incluyen la Formación La Modesta (Di Persia, 1962). Sobre la misma se localizaron pequeñas cuencas fluviales donde se depositaron las sedimentitas pérmicas de las formaciones La Golondrina (Archangelsky, 1958) y La Juanita (Arrondo, 1972) y El Tranquilo (Di Persia, 1965), de edad triásica.

A partir del Triásico superior a Jurásico inferior se establece un sistema extensional, cuyo resultado es la efusión de rocas basálticas y andesíticas asignadas a la Formación Bajo Pobre (Lesta y Ferello, 1972). A partir del Jurásico medio se desarrolla un intenso volcanismo ácido, que da lugar a la formación de un plateau riolítico constituido por el Grupo Bahía Laura (Stipanovic y Reig, 1957; Archangelsky, 1967). El régimen tensional instalado en áreas de inestabilidad cortical culminó con la apertura del océano Atlántico (Uliana *et al.*, 1985). Este proceso de extensión cortical motivó en el Cretácico la generación de cuencas cerra-

das en las que se depositaron sedimentos continentales (Formaciones Bajo Grande y Baqueró).

Durante el Terciario y Cuaternario se produjeron efusiones basálticas, intercaladas con sedimentitas marinas del Oligoceno superior en la parte oriental (Formación Patagonia) y continentales del Mioceno temprano (Formación Santa Cruz).

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

La unidad más antigua reconocida en el área corresponde a la Formación La Modesta que aflora aproximadamente a unos 3.000 m al oeste del casco de la estancia La Josefina (figura 1). Está constituida principalmente por esquistos y filitas subordinadas, en afloramientos de muy pobre expresión topográfica. Los esquistos exhiben tonalidades gris verdosas y están conformados por biotita, cuarzo, turmalina, feldespatos alcalinos, plagioclasas y anfíboles, con abundantes segregaciones de cuarzo, que le confieren un aspecto bandeado, presentando a su vez un intenso replegamiento. Las filitas, por su parte, exhiben una asociación mineralógica algo distinta, integrada por cuarzo, plagioclasa, muscovita y clorita.

Separados por un gran hiato, se presentan asomos de rocas de aspecto masivo, de tonalidades verdosas a grisáceas, con textura levemente porfirica y matriz afanítica. El conjunto exhibe un aspecto pulverulento y alteración de tipo clorítico. Estas rocas han sido asignadas a la Formación Bajo Pobre (Jurásico medio) (Lesta y Ferello, 1972).

La unidad más extensamente desarrollada en el área son las volcanitas y piroclastitas correspondientes al denominado Grupo Bahía Laura, integrada aquí por ignimbritas, cuerpos dacíticos-riodacíticos y lavas (Formación Chon Aike) y tobas de caída de la Formación La Matilde. Fernández *et al.* (1996) proponen subdividir a la Formación Chon Aike en cuatro miembros, que son: Ignimbritas Piedra Labrada, Ignimbritas Cerro Jorge Paz, Miembro La Josefina y Lavas e Ignimbritas María Esther (figura 1). El primero de ellos está formado en sus términos inferiores por ignimbritas ricas en fragmentos pumíceos y muy escasos cristaloclastos de cuarzo, clasificándose a las mismas como tobas lapillíticas. Por encima aparecen las unidades más abundantes dentro de este miembro, consistentes en ignimbritas cristaloclasticas que, ocasionalmente, se intercalan con otras ricas en pumicitas que le otorgan a la roca una lajosidad característica. Contienen abundantes cristaloclastos de cuarzo, feldespatos alcalinos y biotitas. Dentro de esta unidad se incluyen algunos niveles de tobas, así como también una megabrecha muy pobremente seleccionada, que fuera interpretada como una brecha de deslizamiento de borde de caldera.

La otra unidad muy desarrollada del área (Miembro Cerro Jorge Paz) presenta como rasgos característicos en sus términos basales, la abundancia de litoclastos, subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz blan-

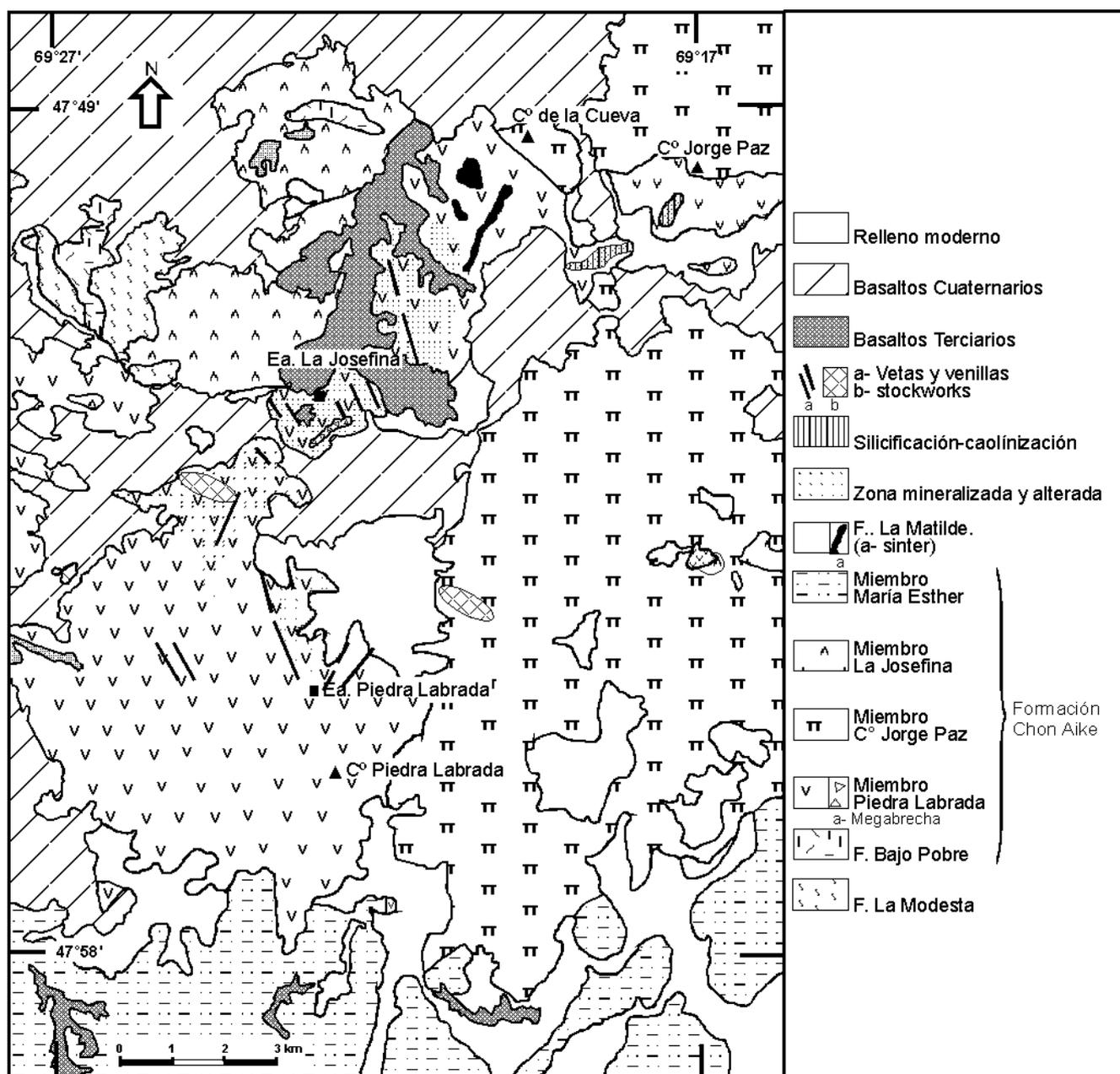


Figura 1. Mapa geológico del área La Josefina, Santa Cruz.

quecina con vitroclastos cuyo tamaño supera el centímetro, con escasos cristaloclastos de cuarzo y biotita. Por encima, siguen ignimbritas castaño rojizas, muy litoclásticas, ocasionalmente también con fiammes, en matriz afanítica con escasos cristaloclastos.

En el Miembro La Josefina, se incluye a un grupo de volcanitas afaníticas, con escasos fenocristales de plagioclasas, biotita y algo de cuarzo, en tonos grisáceos cuando frescas a amarillentos si presentan alteración (piritización y propilitización, con la formación de clorita, calcita y algo de epidoto). Composicionalmente corresponden a riolitas con escasas dacitas. Fernández *et al.* (1996) lo interpretan como un cuerpo de emplazamiento a baja profundidad, ca-

racterizado por su morfología como un domo. Su principal afloramiento se identifica al oeste del casco de la estancia La Josefina, posiblemente intruyendo a los esquistos de la Formación La Modesta.

El cuarto y último miembro (Lavas e Ignimbritas María Esther), aflorante en el sector sur del área, corresponde a ignimbritas, de tonalidad rojo ladrillo, con abundantes fiammes de 2-3 cm de diámetro y escasos cristaloclastos. La fase lávica es de tonalidad gris a morada, con marcada fluidalidad y en parte autobrechada. Incluye también algunos domos vítreos, de pocos metros de diámetro, que en ocasiones se destacan en el paisaje. Las evidencias de campo y dataciones radimétricas ubican a este miem-

bro como uno de los últimos eventos volcánicos acaecidos en el área.

La Formación La Matilde aflora en una pequeña meseta en el sector centro-oriental, constituyendo niveles subhorizontales de tobas blanquecinas a amarillentas, con restos de flora, cubiertos por capas de tobas masivas y coronados por un nivel de algunos metros de espesor de una roca casi completamente desvitrificada.

Posiblemente sincrónico con esta unidad se reconoce un sinter de sílice bandeado, distribuido en una superficie de 300 ha en el sector noreste del área. Consiste en un cuerpo con laminación milimétrica de ópalo y calcedonia masiva. En sectores se observa silicificación sobreimpuesta y brechas hidrotermales, con cemento calcedónico y clastos de sinter laminar.

En un pequeño sector, unos 2.000 m al este del sinter, se presentan asomos de rocas silicificadas y caolinizadas producto de la acción de fluidos hidrotermales, que motivaron una profunda alteración (argilización) de las ignimbritas, que fue denominado, a los fines del mapeo, como *sub-sinter*.

Completan el marco geológico niveles basálticos terciarios, que conforman mantos de algunos metros de potencia con tonalidades muy oscuras, grano fino y con vesículas, asignados por Viera y Márquez (1975) al Eoceno.

De mayor distribución areal son los basaltos cuaternarios, los que cubren grandes extensiones en el sector norte del área, disponiéndose en las parte bajas del relieve. Exhiben coloraciones más claras y mayor cantidad de vesículas que los anteriores. Se los asigna tentativamente al Pleistoceno superior.

De edad cuaternaria se consignan por último sedimentos finos de tipo lacustre y detritos de falda de poca extensión, situados al pie de los mantos ignimbriticos.

ESTRUCTURA

La región se caracteriza (Fernández *et al.*, 1996) por una tectónica de bloques (fallamiento directo), que originó el alabeamiento de las unidades Chon Aike y La Matilde, con suaves inclinaciones. Se identifican dos sistemas de fracturación principales: el de mayor desarrollo se ubica en N20°O, con una conjugada de N 65° E. El segundo sistema tiene una orientación de N58°O y una conjugada de N36°E; corresponderían a lo que Panza (1982) designó como sistemas El Tranquilo y Bajo Grande, respectivamente.

Cabe indicar que la mineralización presenta direcciones N20°O (sistema El Tranquilo) y otra norte-sur a N30° E. Vale decir que estuvo controlada por la fracturación regional, con pequeñas variaciones locales.

MORFOLOGÍA

La zona mineralizada conforma una faja curva, cóncava hacia el este, de 13 km de longitud y anchos comprendidos entre 800 y 1.500 metros. Se extiende desde el sur del casco de la estancia Piedra Labrada, inicialmente con rum-

bo norte-sur para luego torcer al noroeste, hasta el cerro Jorge Paz. Se reconocen en ella tres tipos de yacencia mineral: a) vetas, b) fajas de venillas y stockwork y c) brechas, de tipo tectónico o hidrotermal (Schalamuk *et al.*, 1998).

Las vetas conforman estructuras de relleno, discontinuas, con corridas variables entre 50 y 200 m, que pueden alcanzar hasta los 1.500 metros. La potencia en general es inferior al metro, pudiendo en casos excepcionales llegar a 2,5-3 metros.

La orientación predominante varía de N10-30°O a norte-sur y N20°E, con inclinaciones desde verticales a 70-80°, en general al oeste.

Las venillas y stockworks constituyen fajas de orientación subparalela o redes en varias orientaciones, siendo más abundantes las primeras. Los anchos de las venillas van desde pocos milímetros hasta 4-5 cm, siendo normalmente inferiores a 1 centímetro. Las fajas pueden llegar a los 18 m, en corridas discontinuas de hasta 500 metros. Por lo general presentan una orientación que varía de N10°E a N30°O y N60°O en forma subordinada.

Las brechas tectónicas son tabulares, alojadas en zonas de falla incluyendo fragmentos angulosos a subangulosos de la roca de caja y cuarzo, evidenciando por lo tanto, un brechamiento en parte posmineralización. Constituyen la estructura principal del sector norte (INREMI, 1996).

Las brechas hidrotermales están integradas por fragmentos de ignimbritas, que van desde subangulosos hasta redondeados, incluidos en una matriz de roca triturada y cemento silíceo, representando posiblemente sectores de circulación de fluidos hidrotermales del reservorio geotermal.

Cabe mencionar también el sinter silíceo, emplazado en el sector noreste de la estancia La Josefina. Constituye varios asomos entre los que se destaca un cuerpo mantiforme de 2,5 km en sentido noroeste-sureste, de unos 300 m de ancho (Echeveste *et al.*, 1995). Su rumbo varía desde N30°E en el sector sur a este-oeste en la parte central y norte-sur en el extremo noroeste, con inclinaciones muy variables, en virtud de la tectónica de bloques que impera en el área. Presenta una potencia máxima de dos metros. Generalmente exhibe una fina laminación de sílice microcristalina y limonitas, milimétrica, con tonos amarillentos, blanquecinos, verdosos y rojizos, o bien constituye afloramientos masivos, en parte brechados. Ocasionalmente se presentan estructuras anulares, de 10 a 15 cm de diámetro, que fueron interpretadas (Echeveste *et al.*, 1995) como conductos de salida de gases en un barro silíceo blando, posteriormente rellenos por cuarzo-calcedonia.

Unos 2,5 km al sureste del sinter, se presenta un afloramiento de 1.200 por 50 m de ancho, de una roca parcial a totalmente reemplazada por sílice, masiva y de tonalidad blanquecina, con estructura en parte brechosa, con desarrollo de espacios abiertos rellenos por sílice posterior, a lo que se suma un proceso de piritización, con desarrollo de boxworks (limonitas) y argilización. Se supone que este cuerpo representa una zona de marcada interacción fluidos hidrotermales-roca.

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

La alteración hidrotermal más significativa en el área del prospecto La Josefina es la silicificación, que se manifiesta en los hastiales de las estructuras mineralizadas, tanto en forma pervasiva, como selectiva, reemplazando de preferencia en este caso a los fenocristales de biotitas y trizas vítreas, normalmente bajo la forma de sílice microcristalina (calcedonia). Asimismo es importante en el sector denominado subsinter, donde se presenta como sílice microcristalina de tonalidad castaño clara a amarillenta, acompañada por óxidos de Fe y Mn, jarosita, tridimita, minerales del grupo de las arcillas (caolinita, illita) y sericita (Tessone y Etcheverry, 1998). En este sector también se identificó plumbogumita, especie de tonalidad amarillento verdosa, del grupo de la crandallita (Rolando y Fernández, 1996).

Otro proceso de alteración es la piritización, que afecta en particular al subsinter, donde se reconocen individuos de piritita totalmente limonitizados de hasta 5 cm. Se presenta también en las rocas de caja de las estructuras mineralizadas de mayor dimensión, donde se desarrolla hasta 2-3 m en los hastiales de las mismas (Del Blanco *et al.*, 1994). Cabe indicar también su presencia en los sectores donde se han identificado megabrechas en las facies ignimbríticas del Miembro Piedra Labrada.

La sericitización se evidencia por reemplazos de feldspatos y en menor medida biotitas y/o de la matriz cuarzo feldespática, apareciendo en las salbandas de los cuerpos mineralizados del sector norte, brechas hidrotermales y subsinter.

Alteración de tipo propilitica (cloritas, con calcita-epidoto subordinados) se indica para el domo riolítico-riodacítico (Miembro La Josefina, Fernández *et al.*, 1996) y en algunos cuerpos vetiformes cercanos al mismo.

La argilización es un tipo de alteración también bastante extendida, que conforma distintas asociaciones minerales: caolinita-illita en el subsinter, illita-cuarzo-calcita y/o cuarzo-illita-dickita en las estructuras vetiformes de los sectores central y sur del prospecto.

Tessone y Etcheverry (1998) reconocen en La Josefina alteración de tipo precoz, que hacen extensiva a otros depósitos epitermales del Macizo del Deseado, anterior a la depositación de los metales preciosos, representada por silicificación, piritización, propilitización y posiblemente caolinización. Las alteraciones que son coetáneas con la mineralización están caracterizadas por cuarzo-illita-sericita, ligadas a soluciones hidrotermales con una componente magmática significativa. La asociación illita-sericita se habría formado por alteración de feldspatos de rocas hospedantes por soluciones ligeramente ácidas. Algunas alteraciones observadas en el área serían postmineralización, dando lugar a minerales como plumbogumita y jarosita.

MINERALOGÍA

Los minerales primarios identificados han sido oro nativo, electrum, galena, esfalerita, calcopirita, tetraedrita

y piritita. El contenido en sulfuros en los niveles superficiales del depósito es bajo.

El oro se ha reconocido (Del Blanco *et al.*, 1994; Echavarría *et al.*, 1996; Schalamuk *et al.*, 1998) constituyendo agregados irregulares a escamosos, con tamaños comprendidos entre 5 y 300 μ , pudiendo llegar a 2 mm, distribuidos en cuarzo sacaroides, o diseminado en microfisuras y boxworks asociado a las limonitas. Es frecuente que posea zonación, con coloraciones amarillentas más intensas hacia los bordes, que tienen mayor pureza. Se supone que parte del oro pudo estar incluido en la piritita, que al oxidarse ha liberado al metal noble y permitido su removilización. El electrum aparece en granos alotriomorfos, alojados en el cuarzo grueso, con tamaños que oscilan entre los 20 y 50 micrones. Su abundancia es mayor en los sectores central y norte del prospecto. Análisis por microsonda electrónica (Schalamuk *et al.*, 1998) indican una composición promedio de 80,56% de Au y 18,49% de Ag, con trazas de Bi, Te y As. Para el electrum, se determinó una composición que varía entre 48-60% de Au y 40-52% de Ag.

Entre los sulfuros es piritita el más difundido, en las mismas estructuras mineralizadas y en los hastiales, hasta una distancia de no más de 4 m, en granos de algunos milímetros hasta 2 centímetros. Posiblemente existan dos generaciones, una precoz, de mayor tamaño de grano, probablemente portadora de metales preciosos, y otra de grano fino (20-30 μ), tardía, asociada a cuarzo sacaroides.

Entre los sulfuros de metales base predomina galena, en granos de hasta 4-5 mm vinculada al cuarzo de grano grueso, a menudo con inclusiones mecánicas de otros sulfuros. Calcopirita, al igual que galena, es claramente más abundante en el sector centro-norte; se la reconoce como granos alotriomorfos dentro de cuarzo sacaroides, cuyo tamaño queda comprendido entre 50 y 100 micrones. La esfalerita, cuyas dimensiones son similares a calcopirita, es más abundante en los sectores central y sur del prospecto, frecuentemente asociada a la presencia de galena. La tetraedrita, mucho más escasa, sólo fue identificada en el sector sur, a modo de pequeñas inclusiones dentro de esfalerita, de no más de 15-20 μ , estando vinculada a altos tenores en plata. Se registran, por último, exiguas cantidades de marcasita.

Los microanálisis realizados indican, para galena, reemplazos de Se por S en la estructura cristalina (hasta 0,03%), con valores significativos en Ag de hasta 0,18%, Cu (hasta 0,08%) y Au (hasta 0,5%). Para la esfalerita, se determinaron contenidos de 0,18% en Fe, 0,09% en Cd y vestigios de Ag; por último, para la calcopirita se determinaron contenidos minoritarios de Au (hasta 0,04% en peso) con trazas de Ag, Pb, Se y Te.

Entre los minerales secundarios se hace mención (Del Blanco *et al.*, 1994; Schalamuk *et al.*, 1998) a algunos sulfuros supergénicos especialmente covelina y subordinadamente calcosina, sustituyendo a los sulfuros de metales base, en particular galena y calcopirita a través de un reemplazo de tipo centripeto, constituyendo texturas en atolón. Puntualmente se indica la existencia de argentita, conformando costras sobre esfalerita y galena.

Como fases oxidadas se ha identificado cerusita-anlesita y fundamentalmente hidróxidos de hierro (limonitas), constituyendo boxworks sobre los cristales de pirita de primera generación, asociados a la fina laminación silícea del sinter o bien conformando stockworks, estos últimos estériles en metales preciosos.

El mineral de ganga más abundante es el cuarzo, el que se presenta en varias generaciones; la más abundante es un cuarzo sacaroides, blanquecino, que conforma la mayor parte de las estructuras mineralizadas y posiblemente acompañando a la pirita de primera generación. El tamaño de grano es milimétrico a submilimétrico.

La segunda generación aparece bajo la forma de cuarzo de grano medio a grueso, a menudo traslúcido, que eventualmente llega a conformar texturas en peine, en varias de las estructuras mayores. La tercer generación, tardía, está compuesta por sílice microcristalina (calcedonia) de tonalidad blanquecina a amarillenta, o bien como ópalo. En el sector sur, donde predomina el desarrollo de fajas de venillas, es el constituyente principal de las estructuras mineralizadas, donde aparece con tonalidades rojizas, por presencia de óxidos de hierro, o bien con coloración verde. Datos de microgeotermometría obtenidos recientemente proponen esta secuencia (Fuzikawa *et al.*, 1998).

En el sinter se identificó sílice microcristalina (calcedonia) donde la laminación se produce por la alternancia de capas con inclusiones de materiales opacos (limonitas), con otras libres de ellos, o bien por su distinta granulometría. Normalmente exhiben cierto grado de ondulación, ocasionalmente con granos de pirita, clastos líticos y trizas de vidrio recristalizadas a calcedonia. También se indica (Echeveste *et al.*, 1995) la existencia de delgados y discontinuos niveles de carbonatos intercalados en las láminas de sílice. Aquellos sectores que han sufrido brechamiento se encuentran cementados por guías de cuarzo transparente, con texturas en peine.

Otro mineral de ganga es la baritina, la cual aparece en dos formas: como grandes cristales espáticos de tonalidad blanco verdosa, que constituye venas monominerales en el sector centro occidental del depósito, o bien coexistiendo con el cuarzo, y en parte siendo reemplazada por la sílice de grano fino de última generación, en la zona norte.

En algunos sectores del prospecto se han determinado reemplazos pseudomórficos de ópalo sobre un mineral de hábito tabular, baritina, que podría representar una generación precoz de baritina (Echavarría *et al.*, 1996) o bien de carbonatos (*platy calcite*). Estudios recientes (Fuzikawa *et al.*, 1998) indicarían más plausible la segunda hipótesis.

Un mineral de ganga muy abundante en algunas estructuras del sector central y septentrional del prospecto es la hematita, que se dispone en concentraciones irregulares, de algunos centímetros de diámetro, constituidas por cristales aciculares fibroradiados, asociadas a boxworks de pirita y metales preciosos.

Otro mineral de ganga muy importante, dadas las implicancias genéticas que acarrea su presencia, es la adularia, que aparece como una especie claramente precoz, con

dos aspectos distintos: algunos cristales parcialmente reemplazados por cuarzo, de formas irregulares, directamente en contacto con la roca de caja y vinculado a procesos de sericitización; este mineral puede ser equivalente a lo que Ametrano y Echeveste (1996) reconocen como variedad tabular, depositado previamente a los metales preciosos. La otra variedad, con tamaños de grano inferiores a los 500 μ , euedral, de secciones rómbicas, no presenta alteración y coexiste con la depositación del cuarzo sacaroides.

INCLUSIONES FLUIDAS

Estudios realizados por Fuzikawa *et al.* (1998) sobre las distintas pulsaciones mineralizantes del área La Josefina indican que los cristales precoces de cuarzo se formaron a partir de fluidos en ebullición a temperaturas cercanas a los 275° C, acuosos y de baja salinidad, con menos de 1% en peso de NaCl. Los pulsos posteriores de silicificación dieron lugar a la formación de cuarzo entre 260 y 200° C, tanto en los cuerpos vetiformes como en los sectores de alteración más intensa (subsinter).

Posteriormente se consigna una circulación de fluidos tardíos a través de microfisuras que favoreció la generación de inclusiones fluidas secundarias, donde el carácter de los fluidos fue más salino (5% en peso de NaCl) y las temperaturas de unos 260°C. El carácter de salinidad se mantuvo durante la precipitación de la baritina, presentándose un descenso de la temperatura hasta unos 150° C.

El último pulso mineralizante que dio lugar a la formación de sílice microcristalina y de cristales de cuarzo que tapizan geodas y drusas aconteció a temperaturas inferiores a los 100°C.

ESTUDIOS GEOCRONOLÓGICOS, ISOTÓPICOS, GEOQUÍMICA

Se han efectuado estudios en relación a la concentración y distribución de elementos traza en el sinter silíceo del prospecto La Josefina, donde se evidencian concentraciones anómalas de metales preciosos (Echeveste *et al.*, 1995) similares a las obtenidas en otros sinter de formación reciente (ej. Waiotapu, Nueva Zelanda). Se registran asimismo elevadas concentraciones de elementos tales como As y Sb, también en consonancia con valores de otros cuerpos silíceos laminados de génesis semejante.

Son elevados los contenidos de metales base (Cu, Pb y Zn) en comparación con otros sinter, tanto actuales como antiguos, indicando un carácter geoquímico algo diferente.

Concentraciones menores a las normales se han encontrado para talio y mercurio, lo cual indicaría su escasez en este sistema epitermal, a diferencia de otros depósitos geotermales más recientes.

La distribución por niveles de estos elementos traza apoya la idea de un precipitado primario de sílice, más que un proceso de reemplazo, a partir de surgentes termales tipo *hot spring*, en un cuerpo de agua poco profundo, con ocasional caída de cenizas que fueron parcial o totalmente reemplazadas por sílice.

Para el área del distrito La Josefina se han efectuado numerosas dataciones radimétricas tanto sobre la roca de caja como sobre los minerales de ganga y producto de alteración hidrotermal.

Arribas Jr. *et al.* (1996) realizaron dataciones por el método K/Ar sobre biotitas de las diferentes litologías de la Formación Chon Aike reconocidas en el área. Las edades obtenidas fluctúan entre los $153,2 \pm 3,6$ y $148,8 \pm 3,6$ Ma, para ignimbritas pumíceas de la base del miembro Piedra Labrada y los domos riolíticos, respectivamente, con lo cual se confirma que el evento lávico sería póstumo, y el lapso transcurrido para la generación del evento efusivo varió entre 1 y 4 millones de años. A su vez, la edad del evento efusivo se corresponde muy bien con dataciones de otras contribuciones científicas, como la de Fernández *et al.* (1999) quienes determinan una edad de 150 ± 4 Ma, por Rb/Sr para los eventos volcánicos póstumos. Se registra para la mineralización y alteración hidrotermal una edad de 156 ± 2 Ma, lo cual es coherente teniendo en cuenta el error analítico; asimismo se indica una relación de coetaneidad entre los procesos efusivos y la mineralización epitermal.

La relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las baritinas, por su parte, (0,707052) es muy similar a la roca de caja de la Formación Chon Aike, lo cual indica una fuerte interacción de los fluidos con ella, de modo tal que el Sr y probablemente el Au, provienen de esta fuente.

MODELO GENÉTICO

El depósito de La Josefina corresponde a la tipología de yacimientos epitermales de baja sulfuración (Hedenquist, 1987, White y Hedenquist, 1990) o del tipo adularia-sericita (Heald *et al.*, 1987), relacionada a sistemas geotermales tipo *hot spring*, de los cuales se preservan aún sectores superficiales. En esos sectores se ha producido el escape de fluidos hidrotermales, con brechamiento y depositación de materiales silíceos en ambientes lagunares (sinter). Estos procesos están asociados a ambientes volcánicos de prolongada actividad.

La fuente de calor necesaria para poner en marcha el sistema serían los cuerpos intrusivos subvolcánicos, de composición intermedia a ácida, presentes al noroeste de la estancia La Josefina, (Miembro La Josefina de la Formación Chon Aike). La acción de estos focos calientes habría dado lugar a la circulación de fluidos hidrotermales que tendrían una componente de aguas meteóricas, tal como lo indican los datos de salinidad de inclusiones fluidas (Fuzikawa *et al.*, 1998).

La circulación de los fluidos hidrotermales se produjo a través de los innumerables planos de fracturas, que facilitó la generación de venillas, stockworks y en menor medida vetas, de composición silícea con metales preciosos. Procesos de oxidación posteriores con removilización de los sulfuros y del oro nativo, produjeron clavos o bonanzas de Au de hasta aproximadamente 93 g/t (Del Blanco *et al.* 1994).

El lapso transcurrido entre el comienzo de los eventos volcánico-piroclásticos de la Formación Chon Aike y el

emplazamiento de la mineralización epitermal se estima en unos 4 a 5 millones de años. Esta aseveración está apoyada por las determinaciones realizadas por Arribas Jr. *et al.* (1996) y Fernández *et al.* (1999).

Dentro de los depósitos epitermales de baja sulfuración o del tipo adularia-sericita, la mineralización de La Josefina correspondería al subtipo definido por Sillitoe (1993) con las siguientes características: asociación de los depósitos minerales con rocas subalcalinas, riolitas, contenidos en sulfuros menores al 5% (principalmente pirita, esfalerita y galena), alteración sericítica o illítica con adularia, contenido de metales base menor a 0,1% y genéticamente relacionados a complejos de flujos de domos en ambientes tectónicamente extensionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ametrano, S. y H. Echeveste, 1996. La adularia del distrito aurífero Manantial espejo, provincia de Santa Cruz. Su interpretación metalogénica. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas*, 5: 49-54. La Plata.
- Archangelsky, S., 1958. Estudio geológico y paleontológico del Bajo La Leona (Santa Cruz), Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 2: 5-133. San Miguel de Tucumán.
- Archangelsky, S., 1967. Estudio de la Formación Baqueró. Cretácico inferior de Santa Cruz, Argentina. *Museo de La Plata Revista (nueva serie) 5, Paleontología*, 32.
- Arribas Jr., A., I. B. Schalamuk, R. E. de Barrio, R. Fernández y T. Itaya, 1996. Edades radimétricas de las mineralizaciones epitermales auríferas del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *39° Congreso Brasileiro de Geología*, 7: 254-257. Salvador, Bahía.
- Arrondo, O., 1972. Estudio geológico y paleontológico en la zona de Estancia La Juanita y alrededores, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Museo de La Plata, Revista*, 7, *Paleontología*, 43: 1-194.
- Del Blanco, M., L. Echavarría, H. Echeveste, R. Etcheverry, M. Tessone y R. Mondelo, 1994. Estancia La Josefina, un nuevo prospecto aurífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Encuentro Internacional de Minería, Actas*: 93-99.
- Di Persia, C. A., 1962. Acerca del descubrimiento del Precámbrico en la Patagonia Extraandina (provincia de Santa Cruz). *1° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas*, 2: 65-68. Buenos Aires.
- Di Persia, C. A., 1965. Presencia de sedimentos triásicos en el Ambiente del Deseado. *2° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas*, 2: 147-154.
- Echavarría, L., R. Etcheverry, H. Echeveste, M. Del Blanco, M. Tessone, R. Mondelo y D. Pérez, 1996. Características geológicas del depósito epitermal "La Josefina", Santa Cruz, Argentina. *Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Revista Espacios*, 1 (5): 27-33.
- Echeveste, H., L. Echavarría y M. Tessone, 1995. Prospecto aurífero "La Josefina", un sistema hidrotermal tipo hot spring, Santa Cruz, Argentina. *5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas*: 223-233.

- Fernández, R. R., H. Echeveste, L. Echavarría e I. Schalamuk, 1996. Control volcánico y tectónico de la mineralización epitermal del área de La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas*, 3: 41-54.
- Fernández, R., H. Echeveste, C. Tassinari e I. Schalamuk, 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*, Carlos Paz, Córdoba. En prensa.
- Fuzikawa, K., J. Ríos, J. Vieira Alves, I. Schalamuk, M. Del Blanco, R. de Barrio, H. Echeveste y M. Silvia Dantas, 1998. Fluid Inclusion Studies in La Josefina Au district, Macizo del Deseado, Argentina. *40° Congreso Brasileiro de Geología, B. Horizonte, Anais*: 168.
- Heald, P., N. Foley y D. Hayba, 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, 82: 1-26.
- Hedenquist, J. W., 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-pacific basin. en: M. K. Horn (Ed.), *Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore. *American Association of Petroleum Geologists*: 513-524.
- INREMI, 1996. Informe geológico-minero del área de reserva La Josefina (Fomicruz S.E.), provincia de Santa Cruz. Informe inédito, pgs 101. *Fomicruz S.E.-INREMI (UNLP)*. Río Gallegos-La Plata.
- Lesta, P. y R. Ferello, 1972. Región extrandina de Chubut y norte de Santa Cruz. En Leanza, A. F. (Ed), *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias*, 601-653. Córdoba.
- Panza, J., 1982. Descripción geológica de las hojas 53d, Gobernador Moyano y 54e, Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz. *Servicio Geológico Nacional, Secretaría de Minería*, inédito.
- Rolando, A. P. y R. Fernández, 1996. Alteración hidrotermal del sector nor-oriental del Prospecto epitermal La Josefina, Santa Cruz. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas*: 209-216.
- Schalamuk, I., M. Del Blanco, R. de Barrio, R. Etcheverry, D. Marchionni y M. Tessone, 1998. Características mineralógicas de la paragénesis epitermal del Prospecto La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *4° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis*, (UNS, Bahía Blanca): 259-266.
- Sillitoe, R. H., 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. En Kirkham, R.V., Sinclair, W.D. Thorpe, R. y Duke, J.M. (Eds.), *Mineral Deposit Modeling. Geological Association of Canada, Special Paper* 40: 403-417.
- Stipanovic, P. y A. Reig, 1957. El Complejo Porfirico de la Patagonia Extrandina y su fauna de anuros. *Acta Geológica Lilloana*, 1: 185-297. San Miguel de Tucumán.
- Tessone, M. y R. Etcheverry, 1998. Alteraciones hidrotermales asociadas a algunos prospectos epitermales del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *4° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis*, (UNS, Bahía Blanca): 267-274.
- Uliana, M., K. Biddle, D. Phelps y D. Gust, 1985. Significado del volcanismo, y extensión mesojurásicas en el extremo meridional de Sudamérica. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 40: 231-253.
- Viera, R. y M. Márquez, 1975. Informe geológico preliminar-mosaico 4769-III-d5. proyecto 19 NF-La Josefina. *Servicio Minero Nacional*, inédito.
- White, N. C. y J. Hedenquist, 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36: 445-474.