

# Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera

**Gustavo A. Rodríguez**

Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy y CONICET,  
Avda. Bolivia 1661, 4600 San Salvador de Jujuy, Argentina  
grod@idgym.unju.edu.ar

**Francisco I. Jr. de Azevedo**

Compañía Minera IAMGOLD Argentina S.A.,  
Julio A. Roca 234, 5500 Mendoza, Argentina  
fazevedo@iamgold.com.ar

**Beatriz Coira**

Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy y CONICET,  
Avda. Bolivia 1661, 4600 San Salvador de Jujuy, Argentina  
bcoira@idgym.unju.edu.ar

**Colin Brodie**

Compañía Minera IAMGOLD Argentina S.A.,  
Julio A. Roca 234, 5500 Mendoza, Argentina  
cbrodie@iamgold.com.ar

## RESUMEN

La faja de sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Puna Jujeña, Argentina), constituye un lugar clave para la exploración de mineralizaciones del tipo 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos'. Con el objetivo de establecer los controles geológicos sobre estas mineralizaciones, se llevaron a cabo estudios estratigráficos, estructurales y geoquímicos en distintos sectores de la sierra. De acuerdo a los resultados obtenidos los principales controles son: el arreglo estratigráfico de la secuencia, el estilo de plegamiento y la geoquímica de alteración hidrotermal. Las secuencias constituidas por alternancias rítmicas de areniscas y pelitas, resultaron ser las más favorables en función de su signatura geoquímica original y debido al comportamiento reológico durante el plegamiento. Las mineralizaciones se encuentran confinadas a lo largo de ejes anticlinales, siendo más favorables aquellas estructuras de gran amplitud y longitud de onda. Si bien se reconocen múltiples pulsos de silicificación (hasta con 19 g/ton de Au en vetas) hay mineralización diseminada (0,6 g/ton de Au) en la caja sin indicios de silicificación. Las características geoquímicas demuestran la existencia de sistemas hidrotermales ricos en Au, As (Sb) con cantidades subordinadas de metales base (Pb, Zn, Cu (Mo)). A partir del estudio geoquímico de los metasedimentos se concluye que la razón As/Sb puede utilizarse como una buena guía para establecer intervalos óptimos de mineralización, aunque ésta relación puede ser condicionada por los mecanismos de dispersión y fijación, así como la disponibilidad de elementos en el medio sedimentario. La conjunción de factores como el ambiente de deposición, el estilo de deformación de la secuencia y el nivel estructural involucrado, es la clave para la localización de manifestaciones de interés económico. La similitud de estas mineralizaciones con yacimientos auríferos australianos, abre interesantes perspectivas para la exploración minera del sector.

*Palabras claves:* Au, As, Sb, Exploración minera, Fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos, Sedimentitas ordovícicas, Sierra de Rinconada, Argentina.

## ABSTRACT

**Gold deposits hosted in Ordovician sedimentary rocks of the Rinconada range (Jujuy- Argentina): implications for exploration.** In this presentation, we aim to synthesize the information obtained in a sector of the Puna Argentina and to establish some exploration guides for gold deposits hosted in Ordovician sedimentary rocks of the Rinconada Range (Jujuy province- Argentina). This area constitutes a key place for the occurrence of slate belt gold type deposits. The studies carried out in four sectors allow to establish preliminary constraints regarding genetic controls on the mineralization. These controls are: the stratigraphic arrangement of the sequence, the folding style, and the geochemistry of wall rock alteration. Interbedded sequences with approximately equal proportion of sandstone and mudstone are the most favorable, due to differences in rheologic behavior during folding. Mineralization is structurally controlled and occurs typically along large anticline hinges. Most of the gold occurs in bedding-parallel veins (19 g/t Au) but host rocks without quartz vein also have signs of mineralization (0,6 g/t Au). Geochemical data indicate that the hydrothermal systems were rich in Au-As (Sb) together with subordinate quantities of base metals (Pb, Zn, Cu, and (Mo)). The As/Sb ratio constitutes a good guide to establish optimal levels of mineralization, although the dispersion and fixation mechanisms, as well as the availability of elements in the sedimentary environment may condition this relationship. The relationship between sedimentary environment, deformation style of the sequence and the structural level involved, is the key for the localization of manifestations of economic interest. Mineral occurrences in the Rinconada range have affinities with turbidite-hosted gold deposits in the Victoria mining district of Australia and similar slate belt settings elsewhere.

*Key words:* Au, As, Sb, Exploration, Slate belt gold deposits, Ordovician sedimentary rocks, Rinconada Range, Argentina.

## INTRODUCCION

La presencia en la provincia geológica Puna de extensos afloramientos ordovícicos con indicios de mineralización aurífera justifica un estudio detallado sobre los aspectos genéticos de los mismos.

La similitud de dichas manifestaciones con depósitos localizados en los cinturones 'Lachlan fold belt' en el sudeste de Australia (Yacimientos de la zona Bendigo/Ballararat), 'Tien Shan belt' en Uzbekistan (Yacimiento Muruntau) y 'Carolina slate belt' en U.S.A. (F.I.Jr., Azevedo<sup>1</sup>), sugirió una potencialidad económica aún no debidamente evaluada para las manifestaciones de la Puna.

En la literatura esta clase de depósitos recibe diferentes denominaciones tales como 'Turbidite Hosted Gold Deposits' (Boyle, 1986; Ramsay *et al.*, 1996; Bierlein *et al.*, 1998), 'Mesothermal Vein-Hosted Gold Deposits' (Sibson *et al.*, 1988, Cox *et al.*, 1991; Bierlein *et al.*, 1999, entre otros) o bien 'Slate Belt Gold Deposits' (Lu *et al.*, 1996; Phillips y Law, 1997). En este trabajo se utiliza la denominación 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos' (FPA), para enfatizar la vinculación de los procesos de mineralización con los episodios de deformación de la secuencia.

La sierra de Rinconada constituye un cordón orográfico con rumbo submeridiano ubicado al no-

roeste de la provincia de Jujuy, en el ámbito de Puna Norte (Fig. 1). El sector presenta importantes manifestaciones auríferas que han sido motivo de estudios a través de distintos planes de exploración llevados a cabo por la Dirección General de Fabricaciones Militares, Secretaría de Minería de la Nación y Dirección Provincial de Minería. Las menciones de Sgrosso (1943), Ahlfeld (1948) y Turner (1978) sobre estudios en antiguas minas (El Torno, Minas Azules, Pabellón, Palca Ingenio), junto a trabajos recientes de Coira (1983); Craig *et al.* (1995); Segal *et al.* (1997); Zappettini y Segal (1998) y Rodríguez y Azevedo (2000) sobre la geología y mineralogía de algunas de estas manifestaciones, son las referencias con que se cuenta.

Con el fin de realizar un análisis comparativo se llevaron a cabo diferentes estudios en el sector norte (Minas Azules) y sur (Pasquiri, Guadalupe y Santo Domingo) de la sierra de Rinconada (Fig. 1), contemplando la litología de la roca de caja, el control estructural y las concentraciones de un grupo de elementos en trazas (Au, As, Sb, Hg, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo), así como aspectos texturales de las vetas auríferas. En el sector norte se realizó un perfil geoquímico a lo ancho de la sierra, recolectando muestras en zonas sin indicios de mineraliza-

<sup>1</sup> 1996. Slate belt gold deposits. Final report (Inédito), Gencor, 200 p.

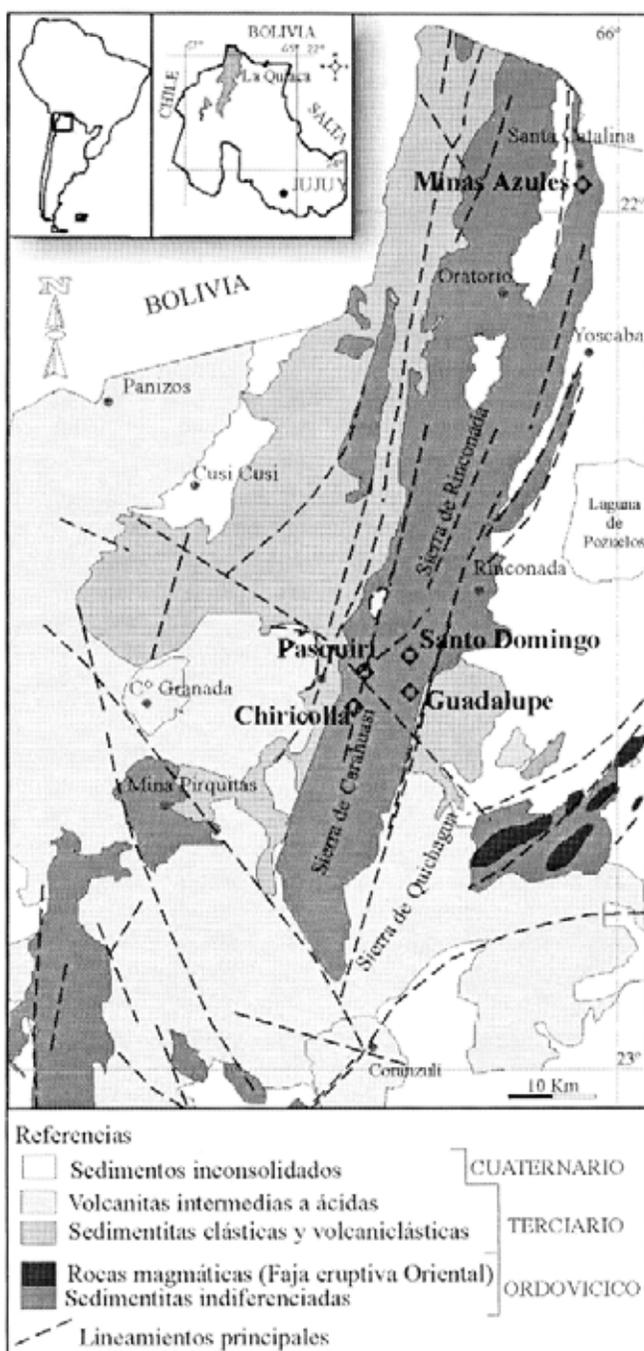


FIG.1. Ubicación de las áreas de estudio.

ción para determinar el fondo geoquímico de las sedimentitas a esta latitud. Con el objeto de establecer el comportamiento geoquímico de los distintos metales, se determinó el factor de enriquecimiento (concentración de un elemento/concentración media de un elemento en la corteza continental), así como los coeficientes de correlación entre

distintos elementos. Los resultados obtenidos son comparados con datos sobre depósitos similares en Australia. La ubicación de los mismos en diagramas As/Sb-As permite establecer campos geoquímicos bien diferenciados para los yacimientos australianos y las manifestaciones de la Puna.

### MODELO CONCEPTUAL PARA YACIMIENTOS TIPO 'FAJAS DE PIZARRAS AURIFERAS'

Los depósitos de fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos 'FPA', tienen una amplia distribución en el mundo y constituyen una clase importante de reservas auríferas asociadas principalmente a vetas de cuarzo (Boyle, 1986; Kontak *et al.*, 1992). Entre los ejemplos de estos yacimientos, que ocurren en sedimentos estratificados que van desde el Arqueano al Terciario, se incluyen aquellos ubicados en la zona de Bendigo-Ballararat en Victoria Central, Australia (Boyle, 1986; Ramsay *et al.*, 1996; Bierlein *et al.*, 1998) en el distrito Caribú, Canadá (Kontak *et al.*, 1990; Sangster, 1990), en el 'Meguma terrane', Nueva Escocia, Canadá (Sangster, 1990), en el 'Otago goldfield', Nueva Zelanda (Paterson, 1986), y el 'Sapie-Pilgrim's Rest goldfield' Transvaal, República de Sudáfrica (Harley y Charlesworth, 1996). Como representantes de depósitos auríferos de clase mundial merecen citarse los yacimientos Muruntau en Uzbekistan con más de 100 millones de onzas y Sukhoy Log en Rusia Oriental con reservas de 50 millones de onzas (F.I.Jr., Azevedo)<sup>1</sup>. En los Andes Centrales existen operaciones en pequeña escala sobre mineralizaciones conocidas desde épocas incaicas: Ananea en el sur del Perú y San Bernardino-Peterson, en la parte norte de Bolivia, este último depósito con reservas de 2,3 millones de onzas -1.4 g/ton Au (Arce y Guzmán, 2000).

Los depósitos consisten en vetas laminadas paralelas a la estratificación (ribbon quartz veins), vetas discordantes, vetas en zona de charnela (saddle reef) y oro disseminado en sedimentos con piritita y arsenopiritita. Frecuentemente se encuentran asociados a anticlinales, fracturas y zonas de cizalla brechizadas. La mineralización hidrotermal, en general simple, consiste esencialmente en cuarzo con cantidades subordinadas de carbonatos,

feldespatos, micas, piritita, arsenopiritita, oro nativo, y sulfuros de Sb, Cu, Pb y Zn (Boyle, 1986).

En general la alteración hidrotermal se encuentra poco desarrollada. Este hecho ha sido atribuido a que los fluidos portadores de mineralización estuvieron en equilibrio químico con la roca de caja (Cox *et al.*, 1983). Más recientemente Bierlein *et al.* (1998) establecieron que la magnitud e intensidad en el desarrollo de alteración hidrotermal, depende de parámetros como el control estructural y la presión de fluidos, además de la reactividad y permeabilidad de la roca hospedante. Los halos de alteración muestran consistente enriquecimiento en  $K_2O$ ,  $CO_2$ , S y As, constituyendo elementos diagnósticos durante la exploración minera.

Si bien existen varias teorías sobre la génesis de estas mineralizaciones, es aceptado que los fluidos auríferos fueron derivados de reacciones metamórficas y los sistemas hidrotermales estuvieron estrechamente vinculados a ciclos orogénicos de escala continental (Sibson *et al.*, 1988; Sangster, 1990; Cox *et al.*, 1991; Kerrich y Cassidy, 1994; Arne *et al.*, 1998). Existen al menos, tres hipótesis sobre la fuente para el oro y los elementos involucrados: **a-** los elementos estaban presentes en la roca de caja y fueron removilizados posteriormente (Sangster, 1990); **b-** los elementos fueron introducidos desde otras fuentes, a partir de fluidos provenientes de la corteza inferior (Cox *et al.*, 1991; Kerrich y Cassidy, 1994), o bien **c-** los elementos fueron introducidos a partir de fluidos hidrotermales derivados de cámaras magmáticas en consolidación (Stüwe *et al.*, 1993). En la figura 2 se presenta un esquema simplificado del modelo conceptual para mineralizaciones del tipo 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos'.

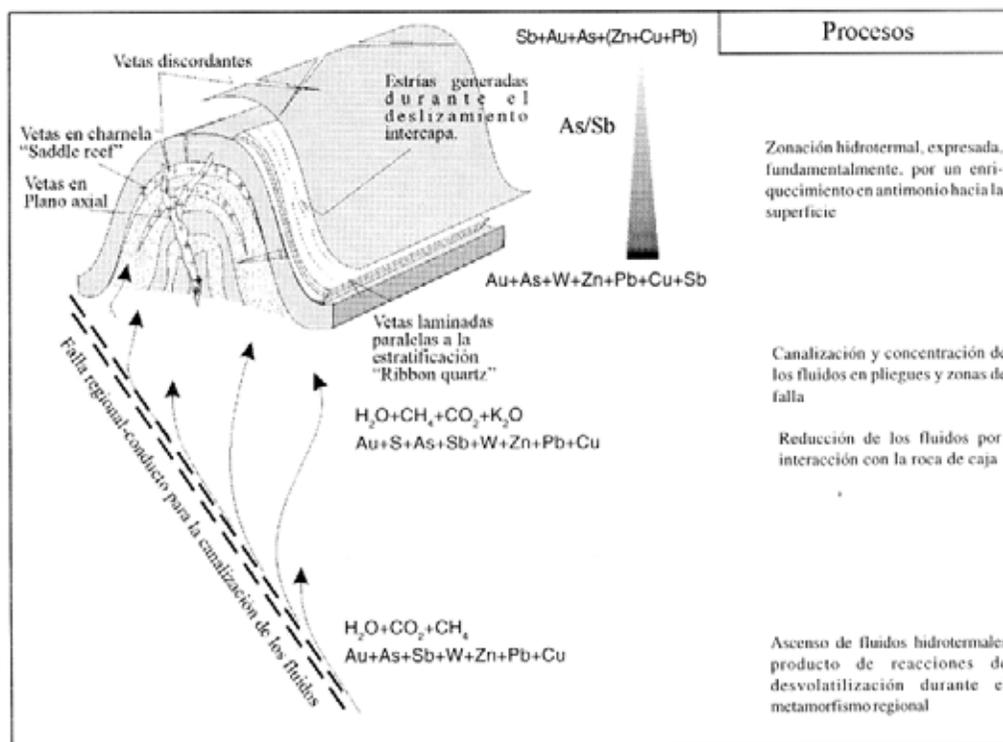


FIG. 2. Modelo conceptual para yacimientos del tipo 'faja de pizarras auríferas en cinturones orogénicos', adaptado de Boyle (1986); Sibson (1988); Cox *et al.* (1993) y Gao y Kwak (1997).

## LAS MINERALIZACIONES AURIFERAS DE LA SIERRA DE RINCONADA

### GEOLOGIA REGIONAL: ANTECEDENTES

La sierra de Rinconada está constituida por sedimentitas ordovícicas con metamorfismo de muy bajo grado. Los sedimentos, de aproximadamente 3.500 m de espesor, fueron depositados mediante la instauración de complejos turbidíticos durante la etapa de subsidencia máxima ocurrida en el Llanvirniano ('Complejo Turbidítico de la Puna', Bahlburg, 1990, 1991). El mayor episodio de acortamiento cortical en la región ocurrió durante la orogénia Oclóyica (Ashgilliano, Turner y Méndez, 1979) el que generó un plegamiento apretado y clivaje asociado, de rumbo meridiano y vergencia en general al oeste (Mon y Hongn, 1987).

Si bien no existen evidencias de magmatismo ordovícico en la sierra de Rinconada, en el norte de Chile hay registros de un vulcanismo arenigiano, además de un plutonismo arenigiano/llanvirniano y

ashgilliano (Faja Eruptiva de la Puna Occidental). En Puna nororiental (Sierra de Escaya-Cochinoca) se reconoce un vulcanismo bimodal e intrusivos graníticos del Arenigiano inferior y medio. En el límite Ordovícico-Silúrico un plutonismo granítico se emplazó sintectónicamente con la deformación Oclóyica tanto en el norte de Chile como en Puna nororiental (Mpodozis *et al.*, 1983; Rapela *et al.*, 1992; Coira *et al.*, 1999).

La estructura del Ordovícico de la Puna puede caracterizarse como una faja plegada y corrida con desarrollo de clivaje (Hongn y Mon, 1999). Los pliegues son de varios órdenes, desde pliegues a escala de muestra de mano hasta estructuras regionales de 1 a 2 km de longitud de onda, apretados, generalmente de rumbo meridiano y buzamiento subhorizontal (Hongn y Mon, 1999).

Las mineralizaciones auríferas, se disponen en fajas alargadas paralelas al rumbo del plegamiento.

Frecuentemente superan los 8 km de longitud y decenas de metros de ancho, desarrollando zonas de blanqueo útiles en la exploración regional (Rodríguez y Azevedo, 2000). La mayor parte de los depósitos minerales consisten de vetas de cuarzo emplazadas en zonas de falla y ejes de pliegues anticlinales (Segal *et al.*, 1997; Zappettini y Segal, 1998).

#### GEOLOGIA DE LOS DEPOSITOS MINERALES

Con el objetivo de realizar un estudio comparativo se analizaron los datos provenientes de manifestaciones minerales con diferentes características estratigráficas y estructurales. El análisis estuvo dirigido a establecer de que manera éstas características condicionan la potencialidad económica de las mineralizaciones.

Las secuencias constituidas por alternancias rítmicas de pelitas y areniscas muestran un estilo de plegamiento simple (asociación Minas Azules en el sector norte y faja occidental-Pasquiri- en el sector sur) mientras que aquellas dominadas por una sola litología muestran una deformación y estilo de plegamiento más complejos (asociación Oriental en el sector norte y Guadalupe-Santo Domingo en el sector sur de la sierra de Rinconada- Fig. 1).

#### MARCO ESTRATIGRAFICO-LITOLOGICO

Los estratos ordovícicos en el norte de la sierra de Rinconada están caracterizados por dos diferentes asociaciones de litofacies (se usa la denominación 'asociación' para agrupar un conjunto de litofacies con atributos similares). La primer asociación, denominada aquí asociación Minas Azules (AMAz) es una sucesión de turbiditas arenoso-pelíticas de por lo menos 1.200 m de espesor, la que conforma un único pliegue anticlinal que controla la mineralización en Minas Azules (Figs. 3a y 4a-b). Esta unidad aflora desde el borde occidental próximo al río Santa Catalina y constituye el cuerpo principal de la sierra.

La segunda asociación (asociación Oriental) consiste principalmente en pelitas oscuras con intercalaciones esporádicas de areniscas finas. La discontinuidad en los afloramientos impide determinar el espesor y reconstruir la estructura con precisión. Representa el 40% de cuerpo de la sierra y

constituye el sector menos importante desde el punto de vista exploratorio (Rodríguez y Azevedo, 2000).

La secuencia sedimentaria en el sector norte de la sierra de Rinconada se encuentra entonces constituida por una sucesión de turbiditas grano-estrato decreciente de más de 1.200 m de espesor. En el nivel inferior aflorante (núcleo del anticlinal mineralizado de Minas Azules) los bancos de areniscas comúnmente superan los dos metros de potencia, hacia arriba disminuye el espesor de los mismos conformando pares de arena fina y pelitas de 20 a 30 cm. La asociación Oriental que refleja los sectores superiores de relleno, muestra una secuencia predominantemente pelítica, con intercalaciones esporádicas de areniscas finas depositadas durante los periodos de retracción del sistema deposicional.

El sector sur de la sierra de Rinconada puede separarse en dos 'fajas' en función de las características litológicas y estructurales; una oriental (Guadalupe- Santo Domingo) y otra occidental (Pasquiri-Chiricolla- Figs. 1 y 3b). Una alternancia rítmica de areniscas finas en bancos tabulares de hasta 2 m con lutitas carbonosas caracteriza al sector occidental, mientras que el oriental está integrado principalmente por pelitas carbonosas que constituyen el cuerpo principal de la sierra. Dentro de estas pelitas se intercalan bancos irregulares de areniscas con espesores superiores a los 5 m y alcanzando hasta 30 m en zonas de amalgamación de capas arenosas.

#### CONTROLES ESTRUCTURALES

En el sector norte de la sierra de Rinconada, a partir de un perfil este-oeste (4 km- Fig. 3a), se establece que el plegamiento regional, fallamiento y desarrollo de clivaje, son indicativos de un acortamiento este- oeste y extensión vertical como resultado de la deformación regional a que estuvo sometida el área. Las respuestas reológicas a la deformación fueron diferentes en función del arreglo estratigráfico de los sedimentos involucrados. Así, la asociación Minas Azules forma parte de un único pliegue anticlinal de aproximadamente 1,2 km de longitud de onda y una traza axial de rumbo submeridiano con más de 12 km de longitud. El plegamiento es asimétrico con vergencia al este (ver diagrama estereográfico en figura 3a). La foliación penetrativa (S1) tiene un rumbo submeridiano con inclinaciones de alto ángulo al oeste (entre 75

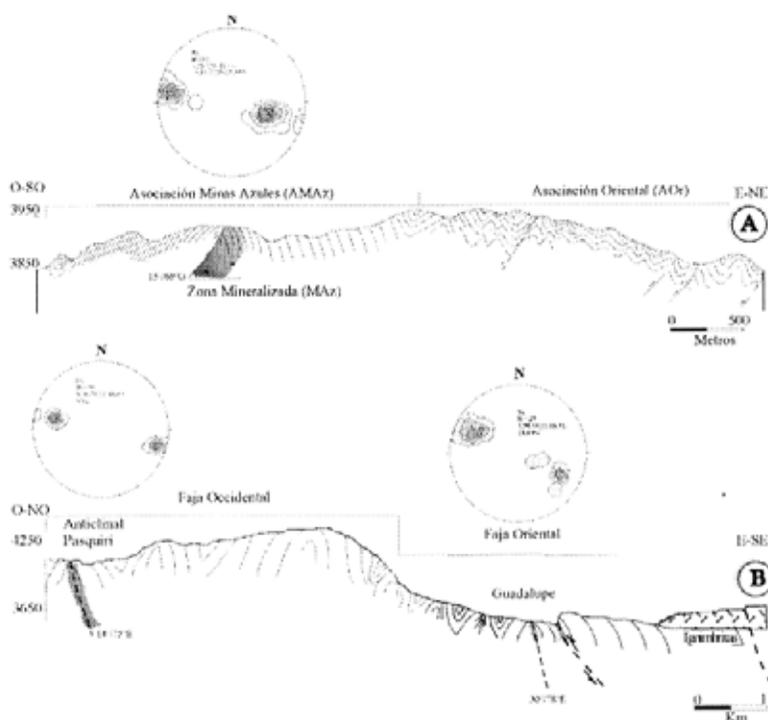


FIG. 3. Perfiles transversales a la sierra de Rinconada. **A**- sector norte; **B**- sector sur, con diagramas estereográficos (Schmidt, hemisferio inferior) mostrando diferentes vergencias en el plegamiento. So: estratificación, N: cantidad de mediciones.

y 90°). Este clivaje de plano axial muestra consistentes cambios debido a refracción en capas de diferente litología.

Inmediatamente al este del plano axial, se desarrolla una zona de intensa deformación frágil, paralela al eje del pliegue con buzamiento de 60° al oeste.

La estructura en la asociación Oriental (secuencia de pelitas homogéneas) es más compleja y está representada por una sucesión de pliegues apretados con una longitud de onda menor a los 100 m (Fig. 4c) y un clivaje fuertemente penetrativo en las pelitas.

En el sector sur de la sierra desde el punto de vista estructural la faja oriental (secuencia pelítica Guadalupe-Santo Domingo) muestra una deformación más intensa, caracterizada por un sistema de pliegues simétricos y de corta longitud de onda (400 m como máximo). Se reconocen al menos dos episodios de deformación: uno antiguo (paleozoico), representado por un clivaje pizarreño subvertical y otro más joven (terciario?) que se superpone al anterior desarrollando un clivaje de crenulación

subhorizontal S2, coincidente con superficies axiales de pliegues tipo 'kink'. La deformación frágil está representada además por numerosas brechas tectónicas y corrimientos de bajo y alto ángulo vergentes, en general, al oeste (Fig. 3b).

La faja occidental (Pasquiri-Chiricoya) muestra pliegues de mayor longitud de onda (hasta 600 m) y desarrollo del S1 de plano axial solamente, siendo la deformación por fallamiento menos intensa que en la faja oriental.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS MINERALIZACIONES

La mineralización en Minas Azules muestra un fuerte control por la estructura anticlinal asimétrica, con una concentración de la anomalía aurífera en el flanco oriental buzante con alto ángulo al este. Asociado a dicha estructura anticlinal, un conjunto de vetas y vetillas laminadas ('ribbon quartz') de 1 mm a 30 cm de espesor se emplazaron en los intervalos pelíticos paralelos a los límites de capas y se encuentran cortadas por el clivaje de plano axial (Figs. 4 d-e). Este tipo de vetas es caracteris-

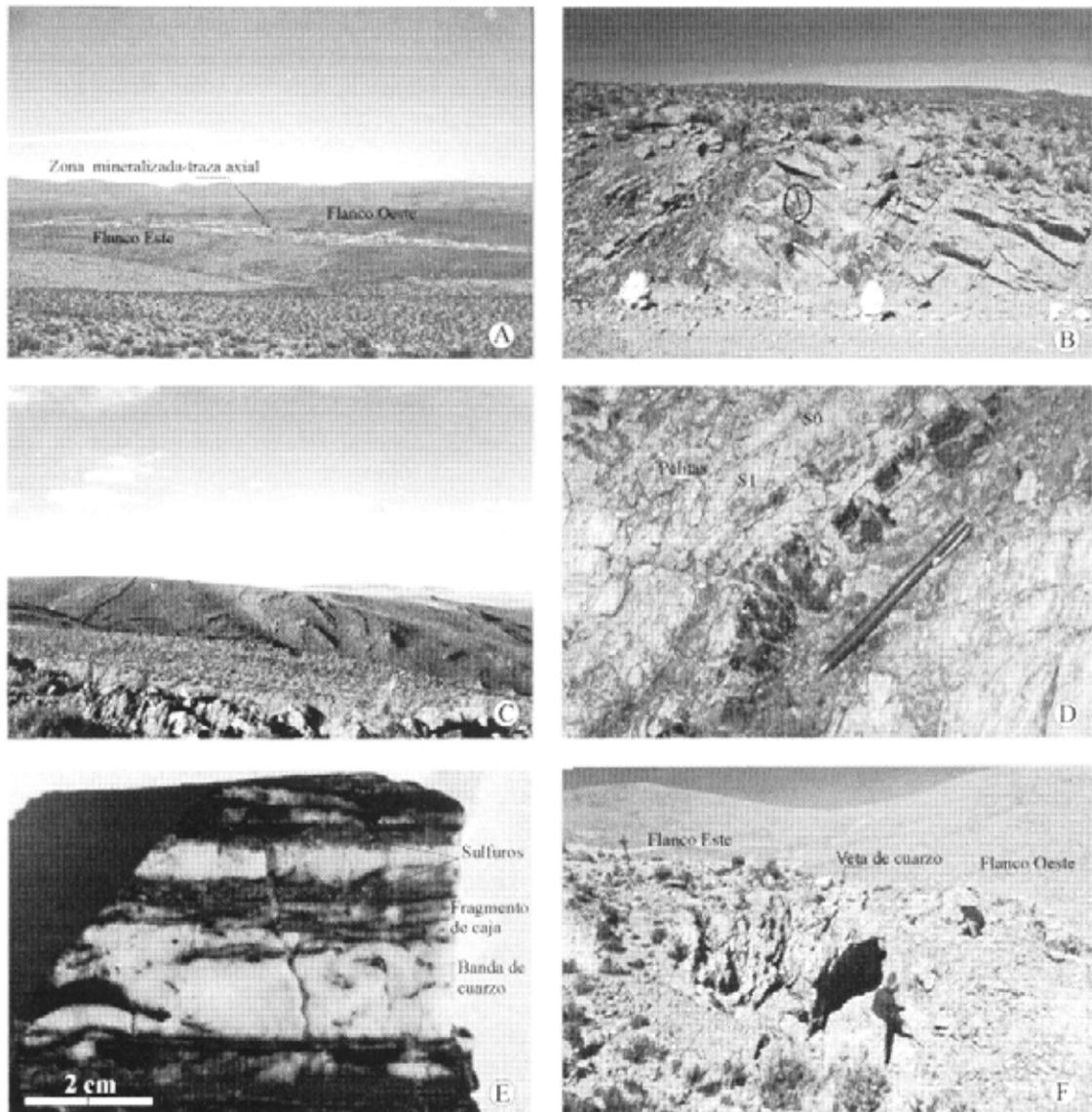


FIG. 4. **A-** vista hacia el sur-suroeste de la zona mineralizada en Minas Azules, mostrando el control por la estructura anticlinal. La longitud de la zona alterada en la fotografía es de 900 m; **B-** facies arenosas en la base de la asociación Minas Azules (próximo al eje anticlinal); **C-** vista hacia el noroeste de la asociación Oriental (AO), mostrando el desarrollo de pliegues en una secuencia predominantemente pelítica (ancho de la fotografía 250 m); **D-** aspecto de las venillas laminadas en Minas Azules; **E-** detalle de una venilla laminada portadora de mineralización aurífera; **F-** vista hacia el sur de una antigua labor minera en la zona de plano axial en Pasquirí.

tico de sistemas hidrotermales controlados por una elevada presión de fluidos y su emplazamiento estaría relacionado a etapas tempranas de deformación de la secuencia (Fitches *et al.*, 1986; Cosgrove, 1993) o estrechamente vinculado a la dinámica del plegamiento (Jessell *et al.*, 1994; Fowler, 1996). En el sector de un antigua labor

minera (en el flanco este) estas vetas arrojaron 19 g/ton de Au. Se reconoce acompañando al oro (hasta 0,2 mm), pirita, arsenopirita, esfalerita, galena y calcopirita. Donde se conserva la charnela es común observar vetas tipo 'saddle reef'.

Además de silicificación en veta y difusa, hay una importante diseminación de pirita-arsenopirita,

que se distribuye en halos concéntricos con los valores más altos (hasta 4% de sulfuros diseminados) hacia el eje del pliegue. Las limolitas y areniscas finas (carbonosas en parte), constituyen las litologías más receptivas a los fluidos mineralizadores, con anomalías de hasta 0,6 g/ton de Au (sin incluir vetas en la muestra). En proximidades del plano axial se desarrolla un fallamiento, generador de un triturado intenso, que controla el emplazamiento de vetas de cuarzo con azimut 30° y buzamiento variable hacia el noroeste. Los valores auríferos asociados a esta estructura, no se mantienen constantes a través del rumbo. Por este motivo debe evaluarse con cierta precaución el rol que jugó el fallamiento frágil, en la removilización y concentración de la mineralización.

En la asociación Oriental, fuera de los límites del anticlinal de Minas Azules, la mineralización se encuentra muy poco desarrollada, localizada en fracturas en los núcleos de pequeños anticlinales y consiste principalmente de vetas de cuarzo blanco sin sulfuros visibles. No se registraron en este sector vetas laminadas. Los contenidos en pirita y arsenopirita (principales sulfuros de alteración

hidrotermal) en general no superan el 0,5 %.

En el sector sur de la sierra, las mineralizaciones también se encuentran controladas por anticlinales. Las vetas de cuarzo son de color blanco grisáceo y tienen una estructura de cuarzo maciza, en parte con textura en peine, con frecuentes inclusiones de material de la caja que pasa hacia los bordes a un cuarzo laminado. Un hecho destacable en Pasquiri es el importante contenido de sulfuros como arsenopirita, galena, esfalerita y oro de hasta 0,5 mm. Estos minerales se encuentran rellenando pequeñas cavidades en contacto con material carbonáceo laminado dentro de las vetas, y en las zonas de contacto de éstas y lutitas carbonosas (sector antiguamente explotado- Fig. 4f). En Guadalupe la silicificación se encuentra confinada a los núcleos de los anticlinales y zonas de falla con vergencia al oeste. El contenido de sulfuros (principalmente pirita < 1,5 %) no muestra enriquecimiento hacia las zonas de mayor silicificación. Por este motivo el desarrollo de pirita, parecería responder a un proceso de tipo regional (condiciones de deposición y/o metamorfismo regional) antes que a introducción y/o removilización por fluidos hidrotermales.

## GEOQUIMICA

### MUESTREO Y METODOLOGIA DE ANALISIS

Las muestras (110 en total) fueron tomadas durante las campañas desarrolladas por la empresa IAMGOLD Argentina S.A. y analizadas en los laboratorios ITS Bondar Clegg (Chile-Canadá). En el sector norte (Minas Azules) se realizó un perfil geoquímico transversal a la sierra de Rinconada. Esto permitió reconocer las características geoquímicas de la asociación Minas Azules (AMAZ) fuera de la zona de mineralización principal, y de la asociación oriental (AOR). Estos resultados pueden considerarse como el fondo geoquímico de las dos asociaciones de litofacies a esta latitud. El muestreo (11 muestras en AMAZ y 11 muestras en AOR) se realizó cada 100 o 200 m, recolectando esquirlas de roca (5-6 kg) en un área de 10 m aproximadamente. En las zonas mineralizadas (Minas Azules, Guadalupe, Santo Domingo, Pasquiri) se recolectaron muestras (22 en cada sector) mediante canaletas de hasta 2,5 m de longitud en general, sin discriminación de vetillas y caja (Tabla 1). La concentración

de oro fue determinada mediante ensayo a fuego (límite de detección 5 ppb); la de arsénico (1 ppm) y antimonio (0,2 ppm) mediante activación neutrónica (INAA). Plata, cobre, plomo y zinc por emisión espectroscópica de plasma (ICP), con los siguientes límites de detección: Ag (0,2 ppm), Cu (1 ppm), Pb (2 ppm), Zn (1 ppm). El mercurio (10 ppb) fue determinado mediante la técnica de ensayo en vapor frío.

Los resultados obtenidos demuestran sistemas muy pobres en metales base con una relación Au/Ag siempre mayor a 1 (aunque frecuentemente Ag está por debajo del límite de detección). Con el objetivo de evaluar el comportamiento geoquímico de metales en trazas se establecieron los valores medios (X), el coeficiente de variación (Cv), el factor de enriquecimiento (Fe) y el coeficiente de correlación (Cc). Esta metodología de análisis es similar a la utilizada por Yang y Blum (1999).

Por último los resultados obtenidos se compararon con manifestaciones similares en Australia, utilizando el diagrama As/Sb-As, de la figura 6.

**TABLA 1. CONTENIDOS QUIMICOS DE LOS METASEDIMENTOS ORDOVICICOS EN LA SIERRA DE RINCONADA. VALORES EN PARTES POR MILLON (ppm) EXCEPTO Au EN PARTES POR BILLON (ppb).**

Asociación Minas Azules									Asociación Oriental							
M	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg
1	< 5	14	4,1	-0,20	21	17	51	-0,01	< 5	4	0,5	-0,20	10	14	37	-0,01
2	< 5	32	46,3	-0,20	32	24	55	-0,01	< 5	12	1,7	-0,20	30	28	115	-0,01
3	15,0	39	5,1	-0,20	21	22	73	-0,01	< 5	18	2,6	-0,20	31	27	118	-0,01
4	< 5	10	2,4	-0,20	19	16	47	-0,01	< 5	12	2,2	-0,20	20	21	78	-0,01
5	< 5	11	2,1	-0,20	27	19	61	0,1	< 5	10	2,1	-0,20	19	16	58	-0,01
6	< 5	29	10,0	-0,20	21	15	67	-0,01	< 5	8	1,4	-0,20	21	17	84	-0,01
7	< 5	62	55,6	-0,20	24	20	32	-0,01	< 5	7	0,9	-0,20	21	21	75	-0,01
8	< 5	24	20,2	-0,20	21	16	59	-0,01	< 5	9	0,6	-0,20	15	14	63	-0,01
9	< 5	24	13,0	-0,20	32	13	90	-0,01	< 5	23	1,2	-0,20	17	12	51	-0,01
10	< 5	17	4,4	-0,20	25	14	96	-0,01	< 5	16	1,3	-0,20	16	12	55	-0,01
11	< 5	12	2,9	-0,20	18	13	60	0,1	< 5	13	0,7	-0,20	11	11	35	-0,01
Santo Domingo									Guadalupe							
M	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg
1	8	49	7,5	-0,20	36	34	85	0,01	< 5	11	1,7	-0,20	14	15	49	-0,01
2	11	34	6,9	-0,20	29	46	83	0,01	< 5	6	3,9	-0,20	18	28	63	0,05
3	< 5	22	1,5	-0,20	21	19	79	0,02	< 5	12	1,7	-0,20	14	13	57	0,01
4	11	25	1,2	-0,20	21	10	15	0,01	9	20	1,4	-0,20	10	19	58	0,02
5	< 5	21	1,7	-0,20	14	10	44	0,01	9	20	4,0	-0,20	25	24	74	0,06
6	< 5	19	2,1	-0,20	18	20	50	0,02	14	20	4,5	-0,20	19	19	73	-0,01
7	< 5	14	2,4	-0,20	15	10	60	0,01	< 5	15	3,9	-0,20	13	8	57	-0,01
8	8	21	7,9	-0,20	35	18	56	0,01	< 5	21	2,8	-0,20	20	20	77	0,01
9	21	41	7,0	-0,20	12	18	46	-0,01	< 5	17	1,9	-0,20	25	15	71	-0,01
10	635	31	6,1	-0,20	37	45	44	0,05	< 5	25	2,1	-0,20	17	15	65	-0,01
11	13	55	12,0	-0,20	49	44	89	0,01	8	35	14,0	-0,20	29	36	69	-0,01
12	43	31	3,0	-0,20	25	20	60	0,01	19	14	2,9	-0,20	17	15	70	-0,01
13	6	46	4,1	-0,20	32	23	57	0,01	9	62	4,0	-0,20	19	9	76	-0,01
14	< 5	16	2,0	-0,20	20	14	58	0,02	47	26	1,6	-0,20	10	7	42	0,02
15	< 5	37	2,9	-0,20	18	27	57	0,01	18	15	5,6	-0,20	38	51	99	-0,10
16	9	37	3,5	-0,20	38	26	66	0,01	8	84	2,9	-0,20	25	13	101	-0,01
17	< 5	33	7,8	-0,20	32	29	72	0,01	41	36	1,7	-0,20	7	4	35	-0,01
18	< 5	8	1,6	-0,20	8	14	50	-0,01	< 5	8	2,1	-0,20	25	17	148	-0,01
19	< 5	17	2,8	-0,20	16	23	70	0,01	< 5	21	3,8	-0,20	20	12	90	-0,01
20	7	37	5,2	-0,20	27	29	69	0,01	50	35	3,0	-0,20	15	5	18	-0,01
21	< 5	20	2,7	-0,20	16	25	68	-0,01	< 5	14	2,3	-0,20	9	12	50	-0,01
22	14	59	6,4	-0,20	68	57	85	0,01	< 5	15	0,5	-0,20	5	5	60	-0,01
Minas Azules- sector mineralizado									Pasquiri							
M	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg
1	57	101	10,0	-0,20	11	8	43	0,02	31	2090	8	-0,20	25	19	20	0,02
2	139	128	15,0	-0,20	19	22	54	0,03	143	1810	11	-0,20	10	45	35	0,01
3	129	313	23,4	-0,20	75	63	34	0,03	77	483	13	14,00	21	5407	6	-0,01
4	104	408	22,9	-0,20	48	16	58	0,02	540	2250	18	-0,20	32	37	28	-0,01
5	91	186	8,4	-0,20	17	9	96	0,01	88	116	5	-0,20	44	26	42	-0,01
6	112	91	7,8	-0,20	23	9	74	0,02	16	65	4	-0,20	15	7	106	-0,01
7	98	164	9,2	-0,20	9	11	86	0,02	30	22	1	-0,20	16	25	68	0,02
8	122	176	8,8	-0,20	13	11	83	0,01	14	18	1	-0,20	12	18	90	0,02
9	183	117	7,8	-0,20	17	9	83	0,01	21	23	0	-0,20	28	19	103	-0,01
10	378	500	20,3	-0,20	61	79	84	0,02	27	55	4	-0,20	22	37	72	0,01
11	156	314	28,6	-0,20	56	101	123	0,02	8	16	3	-0,20	19	14	66	0,01
12	307	200	15,0	-0,20	21	16	90	0,01	13	34	4	-0,20	24	15	96	0,01
13	169	172	14,0	-0,20	27	21	170	0,01	63	89	12	-0,20	38	36	83	0,02
14	328	125	13,0	-0,20	23	9	30	-0,01	12	66	2	-0,20	15	8	70	-0,01
15	328	117	13,0	-0,20	23	8	30	0,01	17	61	4	-0,20	24	17	87	0,01
16	663	196	17,0	-0,20	19	12	46	0,01	10	43	2	-0,20	17	11	67	0,01
17	584	193	29,1	-0,20	20	8	150	-0,01	15	53	3	-0,20	19	15	87	0,01
18	193	70	11,0	-0,20	18	9	48	0,02	115	144	7	-0,20	33	10	132	-0,01
19	132	74	10,0	-0,20	15	10	66	0,01	104	142	9	-0,20	34	28	103	0,02
20	110	73	9,0	-0,20	25	6	55	-0,01	573	205	11	-0,20	33	34	49	0,02
21	323	134	13,0	-0,20	35	12	38	0,02	156	242	5	0,30	27	312	36	-0,01
22	10000	400	10	0,20	16	34	23	0,01	195	109	4	-0,20	48	85	85	0,02

Los valores negativos o precedidos por el signo '<' indican por debajo del limite de detección instrumental.

## VALORES MEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIACION

Se establecieron los valores medios (Tabla 2- columna a) y el coeficiente de variación ( $Cv = S/X$  (%); S: desviación estándar. X: media aritmética) que es un indicador de la uniformidad en la distribución de un elemento dado (Tabla 2- columna b).

La asociación Oriental en el sector norte de la sierra, muestra el promedio más bajo de arsénico seguido por Guadalupe, la asociación Minas Azules (fuera de la zona mineralizada) y Santo Domingo. Pasquiri y Minas Azules tienen promedios por encima de 100 ppm de As.

El oro tiene un elevado Cv en todas las zonas de estudio sugiriendo una distribución heterogénea en las distintas secciones muestreadas. El Cv para arsénico no es tan elevado, a excepción de Pasquiri que reflejaría una removilización y concentración del elemento en la solución hidrotermal. Los metales base muestran bajos Cv a excepción del plomo en Pasquiri y Minas Azules. Un hecho destacable es el promedio de antimonio en Minas Azules que siendo similar al promedio del fondo geoquímico (asociación Minas Azules), presenta un coeficiente de variación elevado, indicando una distribución heterogénea en la secuencia ordovícica sin indicios de mineralización aurífera.

## FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO (FE) Y COEFICIENTE DE CORRELACION (Cc)

Con el objetivo de establecer en que medida se enriqueció un elemento se determinó el factor de enriquecimiento ( $FE = X/X_{cort.}$ ; X= valor medio de un elemento,  $X_{cort.}$  = concentración de dicho elemento en la corteza continental) (Tabla 2- columna

c y Fig. 5). El coeficiente de correlación ( $Cc = (1 - S^2YxX/S^2Y)^{1/2}$ ;  $S^2$ = cuadrado de la desviación estándar de las variables X;Y) es empleado como un indicador del comportamiento geoquímico de un metal con relación a otro) (Tabla 3).

## ORO

Está fuertemente enriquecido en Minas Azules ( $FE > 100$ ), moderadamente en Pasquiri ( $FE$  entre 50 y 100) y débilmente enriquecido en Santo Domingo y Guadalupe (Fig. 5).

Por otro lado el Au se correlaciona con el As en Minas Azules y en Pasquiri (Tabla 3); en este último sector el Au también se correlaciona con el Sb y el Cu. Con el resto de los metales considerados no muestra una correlación evidente. En Santo Domingo y Guadalupe no hay correlación Au-As ( $Cc = 0,04$  y  $0,25$ , respectivamente). Si bien en la población de muestras analizadas no hay una buena correlación Au-Pb, estos elementos suelen estar asociados en zonas de alteración cuarzo-cloríticas con galena ± esfalerita ± oro.

## ARSENICO

Al igual que el oro, el arsénico está fuertemente enriquecido en Minas Azules y Pasquiri ( $FE > 100$ ) y débilmente en Santo Domingo-Guadalupe y en las muestras del fondo geoquímico (AMAz y AOR). Además de hacerlo con el oro, el arsénico muestra una fuerte correlación positiva con el antimonio en Minas Azules (sector mineralizado), la asociación Minas Azules, Santo Domingo, y Pasquiri. El arsénico se correlaciona con los metales base en Santo Domingo y Minas Azules (Tabla 3).

TABLA 2. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO ESTADISTICO DE LOS DATOS. VALORES EN PARTES POR MILLON (ppm) EXCEPTO Au EN PARTES POR BILLON (ppb)

Elemento	Asociación Minas Azules			Asociación Oriental			Santo Domingo			Minas Azules (sector mineralizado)			Pasquiri			Guadalupe			Xcort.
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
Au	2,1						36	372	20,0	668	313	371	103	152	57,2	11	143	6,11	1,8
As	24,9	62,3	16,6	11,9	45	7,93	31	45	20,7	193	62	129	370	188	247	24	75	16	1,5
Sb	15	124	75	1,4	51	7	4,5	64	22,5	14	50	70	6	75	30	3,3	82	16,5	0,2
Cu	23,8	20	0,47	19,5	35	0,39	27	52	0,5	27	63	0,5	25	40	0,5	24	75	0,48	50*
Pb	17,5	21,4	0,89	17,8	34	0,89	26	50	1,1	22	118	1,1	283	405	14,2	3,3	82	2,50	20*
Zn	62	26	0,73	70,6	40	0,83	62	27	0,7	71	55	0,8	69	46	0,81	18	43	0,21	85*

a- media aritmética (X) sobre 22 muestras para los sectores mineralizados, 11 AMAz y 11 AOR; b- coeficiente de variación ( $Cv = S/X(\%)$ ); S= desviación estándar, X= media aritmética; c- factor de enriquecimiento ( $FE = X/X_{cort.}$ ; X= media aritmética,  $X_{cort.}$  = concentración en la corteza continental. (\*) valores promedios en pelitas post-arqueanas (Taylor y McLennan, 1985).

TABLA 3. COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE LOS ELEMENTOS INDICADOS EN LA PRIMERA COLUMNA. LOS VALORES IGUALES O PROXIMOS A 1 TIENEN UNA CORRELACION OPTIMA.

Elementos	Asociación Minas Azules	Asociación Oriental	Santo Domingo	Minas Azules	Pasquiri	Guadalupe
Au-As	—	—	0,04	0,40	0,42	0,25
Au-Sb	—	—	0,15	-0,12	0,68	-0,03
Au-Cu	—	—	0,19	-0,14	0,40	-0,18
Au-Pb	—	—	0,35	0,10	-0,03	-0,21
Au-Zn	—	—	-0,23	-0,27	-0,34	-0,48
As-Sb	0,79	0,39	0,68	0,56	0,65	0,16
As-Cu	0,18	0,27	0,77	0,66	-0,05	0,14
As-Pb	0,51	-0,01	0,72	0,70	0,04	-0,20
As-Zn	-0,31	0,14	0,46	0,06	-0,61	0,04
Sb-Cu	0,42	0,75	0,64	0,68	0,30	0,57
Sb-Pb	0,54	0,64	0,66	0,61	0,34	0,61
Sb-Zn	-0,48	0,68	0,51	0,32	-0,50	0,14
Cu-Pb	0,29	0,91	0,80	0,79	-0,08	0,78
Cu-Zn	0,32	0,97	0,51	0,01	0,06	0,65
Zn-Pb	-0,42	0,93	0,62	0,16	-0,46	0,40

### ANTIMONIO

El antimonio sólo está moderadamente enriquecido en Minas Azules (sector mineralizado) y en la asociación Minas Azules (FE: 70) y débilmente enriquecido en el resto de los sectores. El Sb se correlaciona bien con los metales base en todos los sectores estudiados.

### METALES BASE

El plomo está muy débilmente enriquecido en tanto que el cobre y zinc están deprimidos con relación a valores medios en pelitas post-arqueanas (Tabla 2-columna c y Fig. 5).

Los metales base se correlacionan bien entre sí, en casi todos los casos a excepción de Pasquiri (Tabla 3).

### CONSIDERACIONES GEOQUIMICAS

El arsénico es el principal elemento que muestra una correlación con el oro en aquellos sistemas que resultaron ser los más 'productivos' en función de su contenido aurífero (Minas Azules-sector mineralizado y Pasquiri), por lo que este elemento puede constituir un elemento guía en la exploración de manifestaciones auríferas en la Puna Jujeña. El arsénico es el elemento con mayor valor diagnóstico en la exploración de mineralizaciones de 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos' en donde los depósitos con mayor potencial económico, muestran los tenores más altos de As y una

correlación positiva con el Au (Gao y Kwak, 1997; Bierlein *et al.*, 1998; Arne *et al.*, 1999). Los coeficientes de variación de este elemento indican una distribución bastante homogénea en la secuencia sedimentaria, a excepción de Pasquiri. Su uniformidad en la distribución y correlación positiva con los metales base puede reflejar las características de distribución del As en el ambiente sedimentario inicial. En condiciones de sedimentación anóxica, el As puede formar complejos con la materia orgánica durante la deposición y/o diagénesis (Brannon y Patrick, 1987 en Sangster, 1992).

Por otro lado, el contenido de As en rocas sedimentarias ha sido considerado como indicador de una alta relación entre sedimentación orgánica/inorgánica (Vorstisch *et al.*, 1983 en Sangster, 1992), criterio no aplicable a secuencias sometidas a removilización hidrotermal y concentración posterior.

Para comprender el comportamiento del arsénico en el ambiente sedimentario, debemos analizar las características de las asociaciones Minas Azules y Oriental debido a que representan los sectores menos alterados de la cuenca (fondo geoquímico). Las sucesiones constituidas por alternancias rítmicas de areniscas y pelitas (AMAZ) muestran los promedios más altos de As y una muy buena correlación con el Sb y Pb. La asociación Oriental consiste principalmente en pelitas oscuras con intercalaciones de areniscas que no muestran enriquecimiento en As y su comportamiento geoquímico es distinto del de los metales base. Esto indica que en el análisis deben tenerse en cuenta, las

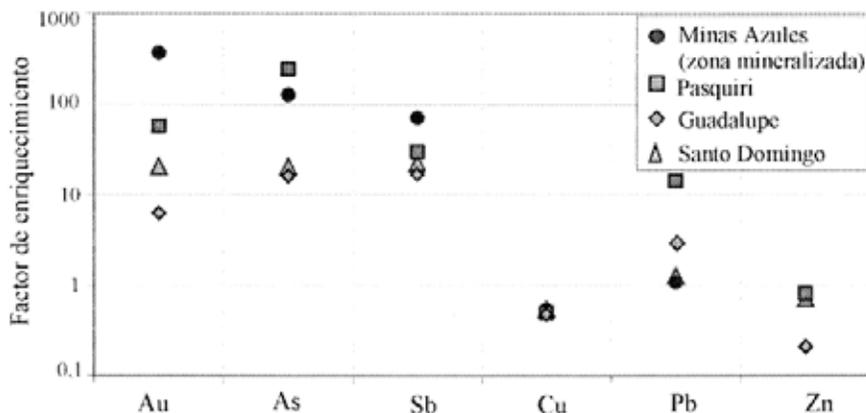


FIG. 5. Factor de enriquecimiento para los diferentes metales en sectores mineralizados.

características litológicas que son un reflejo de condiciones particulares de sedimentación, distribución y fijación de los elementos mineralizadores. El antimonio merece una observación especial en Minas Azules ya que su distribución puede ayudar a definir la zonación del depósito hidrotermal. Este elemento se correlaciona bien con el arsénico en la asociación Minas Azules (fondo geoquímico de la secuencia estratificada), pero en la zona mineralizada disminuye el coeficiente de correlación y el arsénico se correlaciona con el oro. Esto puede ser indicativo de dos situaciones:

- Los trabajos llevados a cabo por Ramsay *et al.* (1996) y Bierlein *et al.* (1998) determinaron que durante los episodios de alteración hidrotermal se genera una zonación expresada por una disminución de la razón As/Sb hacia niveles superficiales (Fig. 2). Si aplicamos esta idea a nuestro caso, la razón As/Sb en la asociación Minas Azules (que está reflejando la composición de los flancos de un

anticlinal disectado) debe ser menor que en la zona mineralizada (eje anticlinal) ya que constituye el nivel más bajo aflorante. Esta relación se cumple: AMAz As/Sb=1,66; zona mineralizada (MAZ) As/Sb=13,7.

- El enriquecimiento del arsénico y su correlación positiva con el oro en los sectores más 'productivos' (Minas Azules y Pasquiri), indica que los mismos formaron complejos con un comportamiento geoquímico similar en el sistema hidrotermal.

Para Santo Domingo y Guadalupe ninguno de los elementos muestra un enriquecimiento importante, y puede deberse a:

- El comportamiento geoquímico y la disponibilidad de metales en el ambiente sedimentario.
- Poca removilización de los mismos durante los episodios de alteración-mineralización.
- Un nivel de erosión más profundo que en el resto de los sectores estudiados (como se puede deducir a partir de los bajos tenores de antimonio).

## CONSIDERACIONES ACERCA DE LA EDAD Y ORIGEN DE LA MINERALIZACION

Si bien aún no existen datos concretos sobre la edad de la mineralización, las observaciones realizadas permiten adjudicar estos depósitos a procesos metalogénicos vinculados a la etapa principal de deformación ocurrida en el Ordovícico superior-Silúrico inferior (Turner y Méndez, 1979). El principal argumento es que los distintos sistemas de vetas están estrechamente vinculados al plegamiento y frecuentemente, las vetas auríferas están

cortadas por el clivaje de plano axial. El estado de conocimiento actual no permite establecer si las vetas laminadas, se emplazaron previamente o durante el plegamiento (Rodríguez, 2000), ya que el deslizamiento intercapa puede ocurrir en cualquiera de estas dos situaciones (Tanner 1989; Jessell *et al.*, 1994). Asimismo, algunos cristales de piritas-arsenopiritas muestran sombras de presión con crecimiento de cuarzo-clorita a partir de fluidos

originados durante la formación del clivaje (Hongn y Rodríguez, en prep.). Por otro lado, Segal *et al.* (1997), y Zappettini y Segal (1998), a partir de estudios texturales sobre minerales de mena en algunas minas, señalaron que el proceso de metamorfismo afecta a la mineralización. Actualmente es difícil ordenar cronológicamente los distintos episodios de deformación (debido a la ausencia de unidades geológicas más modernas), pero solo ha sido identificado un único clivaje de plano axial, generado durante la deformación paleozoica.

En cuanto a la fuente primaria de los elementos mineralizadores, Segal *et al.* (1997) postularon que los mismos podrían relacionarse a sistemas hidrotermales vinculados al magmatismo en el cordón de Escaya-Cochinoca. La evolución metalogenética de las mineralizaciones en Rinconada, habría sido independiente de los sistemas hidrotermales asociados al magmatismo oriental por dos razones: **a-** No hay evidencias de actividad magmática en el cordón de Escaya, coetánea con la depositación de los sedimentos en la sierra de Rinconada (Llanvirniano, Bahlburg, 1990,1991). De todas formas los elementos podrían haber derivado de la erosión de sistemas hidrotermales vinculados al magmatismo del Ordovícico inferior registrado en el cordón de Escaya (Arenigiano, Coira *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 1999). El principal argumento que permite desvincular las mineralizaciones en Rinconada con el magmatismo en cordón de Escaya, es que los patrones de dispersión de sedimentos, obtenidos a

partir de datos de paleocorrientes, indican que las áreas de aporte para los sedimentos de la sierra de Rinconada habrían estado ubicadas al oeste-suroeste (a coordenadas geográficas actuales), y la principal dirección de movimiento de las corrientes turbidíticas habría sido en dirección nornoroeste-noroeste y noroeste (Bahlburg 1990,1991). Este hecho, podría avalar la proveniencia de los elementos a partir de la erosión de sistemas hidrotermales vinculados a la faja magmática occidental; **b-** el segundo argumento en favor de que las mineralizaciones auríferas en Rinconada habrían tenido una evolución metalogenética independiente del magmatismo oriental, es que la signatura geoquímica de metales traza y las características geológicas de las mineralizaciones están claramente diferenciadas en ambos cordones montañosos como se discute en el apartado ambiente tectónico regional.

Si bien se ha establecido la relación temporal entre deformación regional y circulación de fluidos hidrotermales, aún no hay certeza sobre el origen de la mineralización. En forma preliminar, y a modo de hipótesis de trabajo, se puede postular que los elementos habrían estado dispersos en los sedimentos, particularmente concentrados en los intervalos con ritmicidad marcada. Estos, fueron removilizados y concentrados por fluidos hidrotermales derivados de reacciones metamórficas, durante la etapa de mayor acortamiento cortical ocurrida en el límite Ordovícico-Silúrico (orogénia Oclóyica).

## COMPARACION DE LAS MINERALIZACIONES DE JUJUY CON YACIMIENTOS AUSTRALIANOS

Con el objetivo de comparar la geoquímica de las manifestaciones estudiadas con yacimientos de Australia se seleccionaron datos de diferentes depósitos estudiados por Bierlein *et al.* (1999). La mayor parte de estos depósitos muestran evidencias de removilización por magmatismo. Una excepción la constituyen los yacimientos Ballarat este y oeste (8 y 9 en Fig. 6), que poseen características geológicas similares a los de la Puna. Se establecieron los promedios y relaciones As/Sb y estos datos fueron comparados en un diagrama As/Sb en función de As (Fig. 6). Las muestras proyectadas están contenidas por una línea de regresión que evoluciona desde los valores de la corteza continental hacia el campo de los yacimientos australia-

nos. Los sistemas 'poco productivos' (Santo Domingo y Guadalupe), se encuentran muy próximos al campo 'fondo geoquímico' (asociación Minas Azules y asociación Oriental), mientras que los sistemas más productivos de la sierra de Rinconada (sector mineralizado de Minas Azules y Pasquiri) conforman un campo geoquímico por debajo de la línea de regresión y a partir de los 100 ppm de As. En este sector también se ubica el yacimiento australiano Fosterville (7 en Fig. 6). Este depósito muestra notables similitudes con Minas Azules, como es la localización de la mineralización en la zona axial de un braquianticlinal fallado y el desarrollo de brechas mineralizadas con fuerte anomalía de oro y arsénico. En 1990 sus recursos eran de

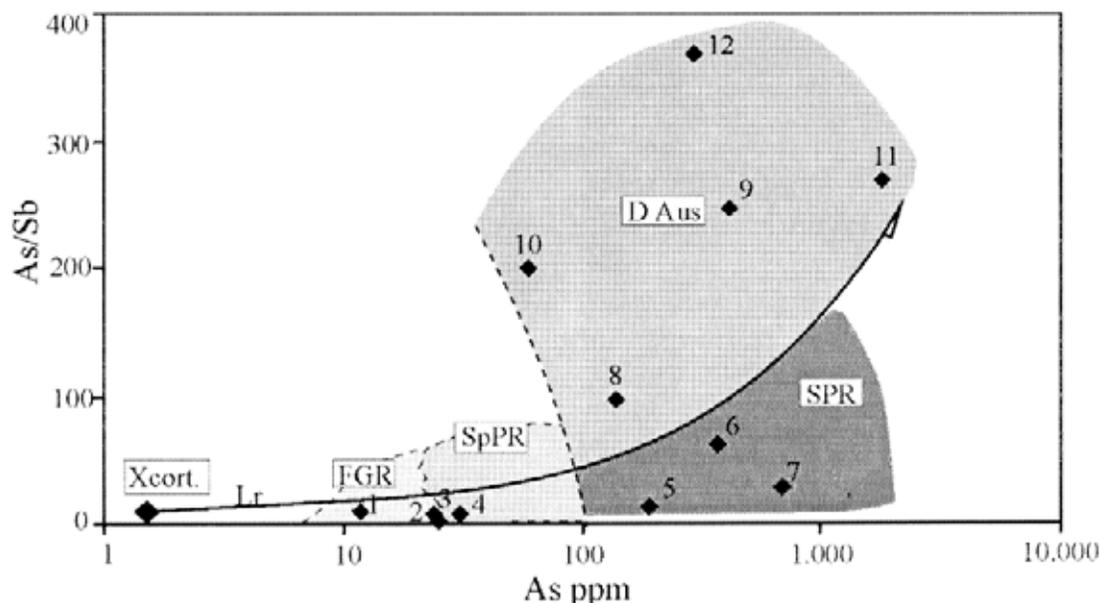


FIG. 6. Diagrama arsénico/antimonio versus arsénico mostrando la distribución de datos. Xcort: valor medio de la corteza continental (Taylor y McLennan, 1985), FGR- fondo geoquímico de la sierra de Rinconada en el sector norte; 1- asociación Oriental; 2- asociación Minas Azules; SpPR- sistemas poco productivos de Rinconada; 3- Guadalupe; 4- Santo Domingo; SPR- sistemas productivos de Rinconada; 5- Minas Azules-zona mineralizada; 6- Paquiri; D- Aus: depósitos australianos; 7- Fosterville; 8- Ballarat Oeste; 9- Ballarat Este; 10- Percydale; 11- Tarnagulla; 12- Maldom. Bierlein *et al.* (1999); Lr- línea de regresión.

3,8Mt con 2,5 g/ton de oro (McConachy y Swensson, 1990). Estas similitudes abren interesantes perspectivas para la localización de mineralizaciones económicas en la Puna. Los depósitos australianos muestran mayores tenores de As y menores de Sb, lo que puede ser indicativo de niveles estructurales inferiores y/o metamorfismo de mayor grado en comparación con los de Rinconada. No está claramente establecida en la literatura el rol que ejerce en estas manifestaciones el grado metamórfico, sí lo está, el nivel de erosión. Por este motivo es

posible que estos aspectos deban considerarse de manera independiente en cuencas con diferentes historias tecto-metamórficas. Así el intervalo de erosión 'óptimo' para la Puna, donde el metamorfismo es de grado muy bajo (Mon y Hongn, 1987), no necesariamente deba ser el mismo que en los yacimientos australianos, donde el grado metamórfico es mayor (facies de esquistos verdes, Ramsay y VandenBerg, 1986) y la removilización por fluidos de origen magmático parece haber sido importante.

## DISCUSION

La estratigrafía, la estructura, la química de los fluidos y el ambiente tectónico regional son los principales controles sobre las manifestaciones auríferas tipo 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos'.

### ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía, como factor de control de la mineralización, tiene relevancia desde dos aspectos: a- el comportamiento reológico de la secuencia

durante la deformación y b- el ambiente de sedimentación.

a- el control estratigráfico juega un rol importante durante los episodios de metamorfismo-deformación. En los casos aquí estudiados son más apropiadas las secuencias rítmicas constituidas por alternancias de pelitas y areniscas. La generación de superficies de deslizamiento flexural es, en general, superior en secuencias rítmicas que en aquellas en donde domina una determinada litología (Tanner, 1989; Jessell *et al.*, 1994; Fowler, 1996;

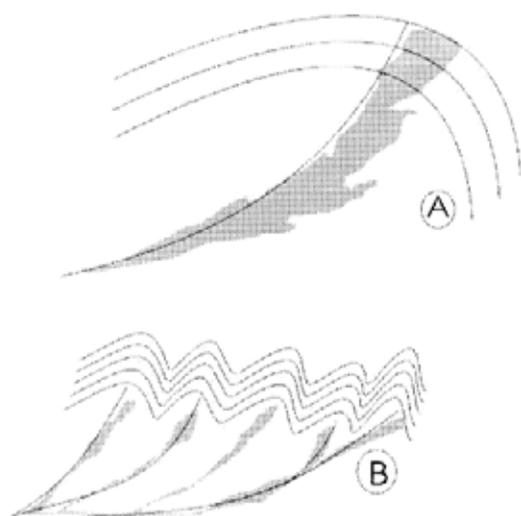


FIG. 7. Influencia que ejerce el orden de los pliegues en la localización de la mineralización. **A-** Minas Azules-Pasquiri; **B-** Santo Domingo-Guadalupe.

Fowler y Winsor, 1997). Estos planos de deslizamiento constituyen los lugares preferenciales para la localización de vetas laminadas. Así, las manifestaciones auríferas de Minas Azules y Pasquiri caracterizadas por su ritmicidad litológica, son las más importantes desde el punto de vista económico.

**b-** La caracterización del ambiente de sedimentación es importante para establecer la posición en la cuenca, la oxigenación de la misma, así como la disponibilidad de materia orgánica. Aún no se dispone de estudios de detalle en la sierra de Rinconada que permitan establecer si las manifestaciones de interés están controladas por un ambiente particular de sedimentación (*i.e.*, zona de lóbulos, interlóbulos, canales, etc.). La bibliografía existente sobre depósitos mundialmente conocidos tampoco contempla este aspecto.

### ESTRUCTURA

Los estudios estructurales estuvieron dirigidos a conocer las relaciones entre la mineralización y la estructura de la roca de caja, a fin de discernir la existencia o no de una relación temporal entre la deformación de las secuencias y el emplazamiento de la mineralización. Todas las manifestaciones estudiadas están controladas por anticlinales, pero el orden y amplitud de dichas estructuras parecen

ejercer un rol importante. Los sectores Minas Azules y Pasquiri están afectados por pliegues de mayor longitud de onda que los de Santo Domingo-Guadalupe; esto puede ser relevante en la canalización y entrapamiento de los sistemas mineralizadores (Fig. 7). A partir del análisis estructural, se establece que los mecanismos de plegamiento y deformación se encuentran estrechamente vinculados al arreglo estratigráfico de los sedimentos involucrados. En este sentido un aspecto que está siendo estudiado es la influencia de los mecanismos de plegamiento y deformación sobre la eficiencia en la concentración y distribución de los fluidos auríferos.

### GEOQUIMICA

Las características geoquímicas de metales en trazas en los casos aquí analizados, indican la actividad de sistemas hidrotermales con una alta relación Au/Ag y contenidos elevados en As-Sb con cantidades subordinadas de metales base. Esta signatura es típica de depósitos similares en otras partes del mundo (Gao y Kwak, 1997; Bierlein *et al.*, 1998, entre otros). El arsénico constituye un elemento clave en la prospección, al tener una buena correlación con el oro y asociarse a la alteración hidrotermal dominante (cuarzo, sericita, clorita) portadora de pirita y arsenopirita. Los valores de arsénico inferiores a 100 ppm indican condiciones poco favorables para la localización de mineralización de interés económico. La relación As/Sb constituye una buena herramienta durante la exploración, la que puede ser influenciada por la dinámica del ambiente sedimentario además del nivel estructural involucrado.

### AMBIENTE TECTONICO REGIONAL

Si bien la evolución geotectónica de la cuenca ordovícica es controversial (Coira *et al.*, 1982; Ramos, 1988; Bahlburg, 1990; Bahlburg y Hervé, 1997; Coira *et al.*, 1999), existe una clara diferenciación entre las mineralizaciones en sierra de Rinconada de aquellas ubicadas más al este en la sierra de Escaya-Cochinoca. Las características más sobresalientes de estas fajas son: **a-** Sierra de Escaya -Cochinoca: Sedimentación en ambiente de plataforma con indicios de somerización (Martínez *et al.*, 1999). Registro de fenómenos de extensión cortical a los que se habría asociado el emplazamiento de reducidos volúmenes de lavas

almohadilladas basálticas y 'sills' con afinidad geoquímica de intra-placa (Coira y Koukharsky, 1991). Las mineralizaciones en este sector consisten principalmente en vetas de cuarzo-baritina, alojadas en secuencias volcánicas a subvolcánicas dacíticas ordovícicas portadoras de minerales de cobre, plomo, plata y zinc (Coira, 1983; Sureda *et al.*, 1986; Barber y Coira, 1996), con escasos indicios de mineralización aurífera; **b-** Sierra de Rinconada: es aceptado por varios autores que los sedimentos de Rinconada se depositaron en los sectores más profundos de la cuenca mediante la instauración de sistemas turbidíticos (Bahlburg, 1990, 1991; Moya, 1999; entre otros). No existe evidencia de magmatismo ordovícico en Rinconada, pero más al oeste en la región occidental de la Puna y sur del salar de Atacama en el norte de Chile, hay

registros de actividad de arco magmático durante el Tremadociano y Arenigiano (Niemeyer, 1989; Koukharsky *et al.*, 1988; Moya *et al.*, 1993).

Las mineralizaciones en sierra de Rinconada son principalmente auríferas, aunque también hay algunos indicios de cobre, zinc, plomo, estaño, antimonio y plata posiblemente asociados a episodios metalogenéticos más modernos.

De esta forma, más allá de las controversias sobre la evolución de la cuenca ordovícica, la sierra de Rinconada habría estado localizada en proximidades a un margen continental activo, cuyos sedimentos fueron deformados y metamorizados durante la orogenia Oclóyica. La proximidad de estos depósitos a zonas de subducción es una característica metalogenética de gran importancia (Cox *et al.*, 1991; Kerrich y Cassidy, 1994).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con la información existente es posible sintetizar los siguientes rasgos de las manifestaciones auríferas en la sierra de Rinconada:

- Están asociadas a secuencias rítmicas posiblemente depositadas en un margen continental activo o próximo a éste.
- Su encajante muestra una deformación intensa y condiciones metamórficas de muy bajo grado.
- Están relacionadas con anticlinales, siendo más importantes las estructuras de mayor longitud de onda.
- Muestran evidencias de múltiples pulsos de silicificación, siendo los intervalos con ritmicidad marcada, los lugares más propicios para la localiza-

ción de vetas de cuarzo-oro laminadas.

- Exhiben una alteración pirítica-sericitica vinculada a la interacción de la roca de caja con fluidos hidrotermales ricos en Au, As y Sb.
- No muestran conexión con magmatismo.

La sierra de Rinconada constituye un lugar clave en la exploración de manifestaciones minerales del tipo 'fajas de pizarras auríferas en cinturones orogénicos' diferenciándose de aquellas ubicadas más al este en la sierra de Escaya-Cochinoca. Los indicios de mineralización aurífera están distribuidos en toda la sierra y su potencialidad merece ser evaluada teniendo en cuenta los principales controles geológicos establecidos en el presente estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa IAMGOLD, por permitir la difusión de los resultados obtenidos durante las campañas de exploración en Puna Argentina. A los doctores F. Hongn (Universidad Nacional de Salta-CONICET), Pablo Caffé (Universidad Nacional de Jujuy-CONICET), R. Lira (Universidad Nacional de Córdoba-CONICET) y al Dr. F. Bierlein (Monash University, Australia) por la lectu-

ra crítica del manuscrito y las sugerencias efectuadas.

Los autores expresan su agradecimiento a los doctores J. Oyarzún (Universidad de La Serena) y F. Henríquez (Universidad de Santiago de Chile) por sus recomendaciones, que ayudaron a mejorar la versión final del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Ahlfeld, F. 1948. Estudios geológicos de yacimientos minerales de la provincia de Jujuy. *Boletín del Instituto de Geología y Minería de Jujuy*, No 455, Parte 1, 85 p.
- Arce, O.; Guzmán, J. 2000. Exploración en la 'faja de pizarras' ('slate belt'). *Congreso Geológico de Bolivia*, No. 14, *Actas*, Vol. 1, p. 332 a 336. La Paz, Bolivia.
- Arne, D.C.; Bierlein, F.; McNaughton, N.; Morand, V.; Ramsay, W.R.H. 1998. Absolute timing of gold mineralization in central and western Victoria: New constraints from SHRIMP II analysis of zircon grains from felsic intrusive rocks. *Ore Geology Reviews*, Vol. 13, p. 312-343.
- Arne, D.C.; Bierlein, F.; McKnight, S.; Mernagh, T. 1999. Recognition of wallrock alteration in sediment-hosted mesothermal gold deposits: Examples from central Victoria. *Exploration Geochemistry for the New Millennium*, *AIG Bulletin*, Vol. 30, p. 89-96.
- Bahlburg, H. 1990. The Ordovician basin in the Puna of NW Argentina and N Chile: geodynamic evolution from back arc to foreland basin. *Geotektonische Forschungen*, Vol. 75, p. 1-107.
- Bahlburg, H. 1991. The Ordovician back-arc to foreland successor basin in the Argentinean-Chilean Puna: tectono-sedimentary trends and sea-level changes. *Special Publications of International Association of Sedimentologists*, Vol. 12, p. 465-484.
- Bahlburg, H.; Hervé, F. 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of America, Bulletin*, No. 7, Vol. 109, p. 869-884.
- Barber, E.; Coira, B. 1996. Mineralizaciones asociadas a secuencias ordovícicas en Puna (Jujuy). In *Congreso Geológico Argentino No. 13, y Congreso de Exploración de Hidrocarburos No. 3, Actas*, Vol. 3, p. 291. Mendoza, Argentina.
- Bierlein, F.P.; Fuller, T.; Stüwe, K.; Arné, D.C.; Keays, R.R. 1998. Wallrock alteration associated with Turbidite-hosted Gold deposits. Examples from the Paleozoic Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. *Ore Geology Reviews*, Vol. 13, p. 345-380.
- Bierlein, F.P.; Waldrom, H.M.; Arné, D.C. 1999. Behavior of rare earth and high field strength elements during hydrothermal alteration of meta-turbidites associated with mesothermal gold mineralization in central Victoria, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 67, p. 109-125.
- Boyle, R.W. 1986. Gold deposits in turbidite sequences: Their geology, geochemistry and history of the theories of their origin. In *Turbidite-hosted Gold Deposits* (Keppie, J.D.; Boyle, R.W.; Haynes, S.J.; editors). *Geological Association of Canada, Special paper*, No. 32, p. 1-13.
- Coira, B. 1983. Magmatismo y mineralizaciones asociadas en Puna Jujeña, Argentina. In *Congreso Nacional de Geología Económica*, No. 2, *Actas*, Vol. 2, p. 405-423. Bariloche, Argentina.
- Coira, B.; Davidson, J.; Mpodozis, C.; Ramos, V. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews*, No. 18, p.303-332.
- Coira, B.; Koukharsky, M. 1991. Lavas en almohadilla ordovícicas en el Cordón de Escaya, Puna Septentrional, Argentina. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 6, *Actas*, Vol. 1, p. 674-678. Viña del Mar.
- Coira, B.; Toselli, A.; Koukharsky, M.; (de) Toselli, J.R. ; Kay, S.M. 1999. Magmatismo Famitliniano. In *Relatorio del Congreso Geológico Argentino*, No. 14, Vol. 1 (González-Bonorino, G.; Omarini, R.; Viramonte, J.; editors). *Artes Gráficas Crivelli*, p. 189-211. Salta, Argentina.
- Cosgrove, J.W. 1993. The interplay between fluids, folds and thrusts during the deformation of a sedimentary succession. *Journal of Structural Geology*, Vol. 15, p. 491-500.
- Cox, S.F.; Cepelch, J.; Wall, V.J.; Etheridge, M.A.; Cas, R.A.F.; Hammond, R.; Willman, C. 1983. Lower Ordovician Bendigo Trough sequence, Castlemaine area, Victoria: deformational style and implications for the evolution of the Lachlan Fold Belt. *Geological Society of Australia, Abstract 9*, p. 41-42.
- Cox, S.F.; Wall, V.J.; Etheridge, M.A.; Potter, T.F. 1991. Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted gold deposits-examples from the Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. *Ore Geology Reviews*, Vol. 6, p. 391-423.
- Craig, J.R.; Segal, S.; Zappettini, E. 1995. El distrito aurífero Rinconada, Provincia de Jujuy, Argentina. In *Congreso Latinoamericano de Geología*, No. 10, *Actas*, Vol. 2, p. 22-35. Caracas, Venezuela.
- Fitches, W.R.; Cave, R.; Craig, J.; Maltman, A.J. 1986. Early veins as evidence of detachment in the Lower Paleozoic rocks of the Welsh Basin, *Journal of Structural Geology*, Vol. 6, p. 607-620.
- Fowler, T.J. 1996. Flexural slip generated bedding-parallel veins from central Victoria, Australia. *Journal of Structural Geology*, Vol. 18, p. 1399-1415.
- Fowler, T.J.; Winsor, C.N. 1997. Characteristics and occurrence of bedding-parallel slip surfaces and laminated veins in chevron folds from the Bendigo-Castlemaine goldfields: implications for flexural-slip folding. *Journal of Structural Geology*, Vol. 19, p. 799-815.
- Gao, Z.L.; Kwak, T.A.P. 1997. The geochemistry of wall rock alteration in turbidite-hosted gold vein deposits, central Victoria, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 59, p. 259-274.
- Harley, M.; Charlesworth, E.G. 1996. The role of fluid pressure in the formation of bedding-parallel, thrust-hosted gold deposits, Sabie-Pilgrim's Rest goldfield,

- eastern Transvaal. *Precambrian Research*, Vol. 79, p. 125-140.
- Hongn, F.D.; Mon, R. 1999. La deformación ordovícica en el borde oriental de la Puna. In *Relatorio del Congreso Geológico Argentino No. 14*, Vol. 1 (González-Bonorino, G.; Omarini, R.; Viramonte, J.; editores). *Artes Gráficas Crivelli*, p. 212-216. Salta, Argentina.
- Jessell, M.W.; Willman, C.E.; Gray, D.R. 1994. Bedding parallel veins and their relationship to folding. *Journal of Structural Geology*, Vol. 16, p. 753-767.
- Kerrich, R.; Cassidy, K.F. 1994. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation-Archean to present: a review. *Ore Geology Review*, Vol. 9, p. 263-310.
- Kontak, D.J.; Smith, P.K.; Kerrich, R.; Williams, P.F. 1990. An integrated model for the Meguma Group lode-gold deposits, Nova Scotia. *Geology*, Vol. 18, p. 238-242.
- Kontak, D.J.; Smith, P.K.; Chatterjee, A.K.; Corey, M.C. 1992. An overview of metaturbidite-hosted lode-gold deposits of the Meguma Group, Nova Scotia: Products of pre-, syn- or post- metamorphic processes related to meguma Terrane accretion (?). *Geological Association of Canada, Annual Meeting, Wolfville*, 88 p.
- Koukharsky, M.; Coira, B.; Barber, E.; Hanning, M. 1988. Geoquímica de vulcanitas ordovícicas de la Puna (Argentina) y sus implicancias tectónicas. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 5, *Actas*, Vol. 3, p. 1-137-1-145. Santiago.
- Lu, J.; Seccombe, P.K.; Foster, D.; Andrew, A.S. 1996. Timing of mineralization and source of fluids in a slate-belt auriferous vein system, Hill End goldfield, SW Australia: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating and O-and H-isotopes. *Lithos*, Vol. 38, p. 147-165.
- Martínez, M.; Brussa, E.; Pérez, B.; Coira, B. 1999. El Ordovícico de la sierra de Quichagua (Puna nororiental Argentina): litofacies volcanosedimentarias y graptofaunas. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 14, *Actas*, Vol. 1, p. 347-350. Salta, Argentina.
- McConachy, G.W.; Swenson, C.G. 1990. Fosterville gold field. In *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*, Vol. 2 (Hughes, J.E.; editor). *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 14, p. 1297-1298.
- Mpodozis, C.; Hervé, F.; Davidson, J.; Rivano, S. 1983. Los granitoides de Cerros de Lila, manifestaciones de un episodio intrusivo y termal del Paleozoico inferior en los Andes del Norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 18, p. 3-14.
- Mon, R.; Hongn, F. 1987. Estructura del Ordovícico de la Puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 42, No. 1, p. 31-38.
- Moya, M.C.; Malanca, S.; Hongn, F.D.; Bahlburg, H. 1993. El Tremadociano temprano en la Puna occidental Argentina. *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, y *Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, No. 2, *Actas*, Vol. 2, p. 20-30. Mendoza, Argentina.
- Moya, M.C. 1999. El Ordovícico en los Andes del noroeste Argentino. In *Relatorio del Congreso Geológico Argentino*, No. 14, Vol. 1 (González-Bonorino, G.; Omarini, R.; Viramonte, J.; editores). *Artes Gráficas Crivelli*, p. 134-152. Salta, Argentina.
- Niemeyer, H. 1989. El complejo igneo-sedimentario del Cordon de Lila, Región de Antofagasta: significado tectónico. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 16, No. 1, p. 163-181.
- Paterson, C.J. 1986. Controls on gold and tungsten mineralization in metamorphic-hydrothermal systems, Otago, New Zealand. *Geological Association of Canada, Special paper*, No. 32, p. 25-39.
- Phillips, G.N.; Law, J.D.M. 1997. Hydrothermal origin for Witwatersrand gold. *Society of Economic Geology, Newsletter*, No. 31, p. 27-33.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America- a collisional history. *Episodes II*, p. 168-174.
- Ramsay, W.R.H.; VandenBergh, A.H.M. 1986. Metallogeny and tectonic development of the Tasman fold belt system in Victoria. *Ore Geology Reviews*, Vol. 1, p. 213-357.
- Ramsay, W.R.H.; Arne, D.A.; Bierlein, F.P. 1996. A review of turbidite-hosted gold deposits, Central Victoria: Regional setting of mineralization and genetic constraints. *Sedimentary-Hosted Mesothermal Gold Conference*, p. 81-90.
- Rapela, C.W.; Coira, B.; Toselli, A.; Saavedra, J. 1992. The lower Paleozoic magmatism of southwestern Gondwana and the evolution of the Famatinian Orogen. *International Geology Reviews*, Vol. 34, p. 1081-1142.
- Rodríguez, G.A. 2000. Control litológico sobre el emplazamiento de vetas laminadas en secuencias turbidíticas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina). *Congreso Geológico de Bolivia*, No. 14, *Actas*, Vol. 1, p. 441-444. La Paz, Bolivia.
- Rodríguez, G.A.; Azevedo, F.I. (Jr). 2000. Manifestaciones minerales tipo 'Slate Belt Gold' en la sierra de Rinconada-Carahuasi. Puna Jujena, Argentina. In *Congreso de Mineralogía y Metalogía*, No. 5, *Actas*, Vol. 1, p. 439-442. La Plata, Argentina.
- Sangster, A.L. 1990. Metallogeny of the Meguma Terrane, Nova Scotia. In *Mineral Deposits Studies in Nova Scotia* (Sangster, A.L.; editor). *Geological Survey of Canada, Paper 90-8*, Vol. 1, p. 115-162.
- Sangster, A.L. 1992. Light stable isotope evidence for a Metamorphogenic origin for bedding-parallel, gold-bearing veins in Cambrian flysch, Meguma group, Nova Scotia. *Exploration Mining Geology*, Vol. 1, No. 1, p. 69-72.
- Segal, S.J.; Zappettini, E.; Craig, J.R. 1997. Metalogénesis del oro en la sierra de Rinconada. *Servicio Geológico Minero Argentino, Serie de Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales*, No. 2, p. 6-31.
- Sgroso, P. 1943. Contribución al conocimiento de la minería y geología del noroeste Argentino. *Dirección de Minas y Geología*, No. 53, 30 p.
- Sibson, R.H.; Robert, F.; Poulsen, K.H. 1988. High-angle

- reverse faults, fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, Vol. 16, No. 6, p. 551-555.
- Stüwe, K.; Wil, T.M.; Zhou, S. 1993. On the timing relationship between fluid production and metamorphism in metamorphic piles: some implications for the origin of post-metamorphic gold mineralization. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 114, p. 417-430.
- Sureda, R.; Galliski, M.A.; Argañaraz, P.; Daroca, J. 1986. Aspectos metalogenéticos del Noroeste Argentino (provincias de Salta y Jujuy). *Revista Capricornio 1, Universidad Nacional de Salta*, Vol. 1, p. 39-95.
- Tanner, F.W.G. 1989. The flexural slip mechanism. *Journal of Structural Geology*, Vol. 11, p. 635-655.
- Taylor, A.R.; McLennan, S.M. 1985. The continental crust: its composition and evolution. *Blackwell*, 60 p. Oxford.
- Turner, J.C.M. 1978. Descripción geológica de las hojas 1a y b, Santa Catalina y 2a, San Juan de Oro. *Servicio Geológico Nacional*, 55 p.
- Turner, J.C.M.; Méndez, M. 1979. Puna. In Simposio de Geología Regional Argentina, No. 2. *Academia Nacional de Ciencias*, Vol. 1, p. 13-56. Córdoba, Argentina.
- Yang, S.X.; Blum, N. 1999. Arsenic as an indicator element for gold exploration in the region of the Xiangxi Au-Sb-W deposits, NW Hunan, PR China. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 66, p. 441-456.
- Zappettini, E.O.; Segal, S.J. 1998. Metallogeny of gold in Sierra de la Rinconada, Province of Jujuy, Argentina. *Proceedings of the Ninth Quadrennial IAGOD Symposium*, p. 319-330. Stuttgart.