Magmatismo y mineralización aurífera en la Cañada del Bayo, Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina

por Guillermo A. Vergara[1] y Miguel Gianfrancisco[2]

1. Dirección Provincial del Agua, Bolívar 1095, San Miguel de Tucumán
2. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, San Miguel de Tucumán. E-mail: mgian@csnat.unt.edu.ar

Abstract. An auriferous anomaly is described. At the northern western Sierras Pampeanas morphoestructural environment, in Tucumán, Argentina, localizes. The ore is diseminated and origins in the hydrothermal-pneumatolitic aportation, derived from a granodioritic intrusive body to biotitic schists wall rock. The mineralizing process was complex, including brecchiament, musovitic alteration, tourmalinization, and xenotime, monazite, apatite, rutile and manganotitaniferous magnetite deposition with was followed by quarziferous veiny containing electrum disemination. Structurally is an stockwork. Geochemical sampling allows to enclose an 1,27 square kilometers area 430 ppb of gold values average an anomalous contents of Ce, Cr, Ni, Nd, Nb, Ta, Hf, Cs, rare earths, platinum and paladium.

Keywords: granodioritic intrusive, stockwork, gold, rare earths.

Resumen. Se describe una anomalía aurífera en las Cumbres Calchaquíes, localizadas en el ambiente morfoestructural de las Sierras Pampeanas noroccidentales, Tucumán, Argentina. El depósito es diseminado y se originó por el aporte hidrotermal pneumatolítico de un intrusivo granodiorítico a la caja de esquistos biotíticos. El proceso mineralizante fue complejo, incluyendo brechamiento, muscovitización, turmalinización, deposición de xenotima, monazita, apatita, rutilo y magnetita manganotitanífera, concluyendo con venulación cuarcífera que porta laminillas de electrum. Estructuralmente es un stockwork. El muestreo geoquímico permitió circunscribir un área de 1,27 kilómetros cuadrados, con tenores auríferos promedio de 430 ppb y registros anómalos de cerio, cromo, níquel, neodimio, niobio, tantalio, hafnio, cesio, tierras raras, platino y paladio.

Palabras claves: intrusión granodiorítica, stockwork, oro, tierras raras.

1. Introducción

El prospecto se encuentra localizado en la falda occidental de las Cumbres Calchaquíes, en la provincia de Tucumán, Argentina, a los 65° 43' de longitud oeste y 26° 41' 50» de latitud sur. La altitud de la comarca promedia los 4.300 metros sobre el nivel del mar.

El acceso al depósito mineralizado se realiza desde San Miguel de Tucumán, pasando por Tafí del Valle, hasta el paraje denominado El Infiernillo, recorriendo 130 kilómetros por rutas pavimentadas en buen estado; a partir de allí (3.000 m.s.n.m.) se empalma con una huella apta para vehículos 4 x 4, que llega a la Cañada del Negrito, a 4.100 m.s.n.m., con un recorrido de solo 10 kilómetros.

2. Antecedentes y metodología de trabajo

El territorio fue estudiado regionalmente por Ruiz Huidobro (1972), y el prospecto aurífero fue descripto por Vergara *et al.* (1998 a y b; 1999). El primer autor mapeó la

granodiorita del cerro Bayo y los esquistos del cerro El Negrito. La anomalía de metal noble y tierras raras fue descubierta en 1997, procediéndose ese mismo año a un muestreo prospectivo, que permitió definir un esquema preliminar (Vergara *et al.* 1998 a y b) con máximo registro aurífero de 770' ppb en un área con leyes mayores a 200 ppb.

Durante el presente año se realizaron nuevos estudios con el objeto de intensificar el conocimiento del núcleo detectado, en una malla de muestreo con espaciados inferiores a los doscientos metros, y cuyos resultados se exponen en el presente trabajo. En total se extrajeron 88 muestras de chips de rocas y dos de sedimentos glacilacustres. La base topográfica se diseño con brújula, altímetro y GPS.

El oro y la plata fueron investigados por AA FA 50 gramos en el Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad Nacional de San Juan. Los restantes elementos se analizaron el Laboratorio Central de ITS Bondar Clegg, en Vancouver, Canadá, por ICP, activación neutrónica, absorción atómica y fluorescencia por rayos X.

3. Geología

En la comarca afloran rocas del basamento cristalino, que integran el sistema morfoestructural de las Sierras Pampeanas noroccidentales (Caminos, 1979). La litología incluye esquistos biotíticos intruidos por un plutón granodiorítico, y las rocas producto de su interacción (mapa geológico, fig. 1).

3.1. Precámbrico.. Formación Cañada del Negrito (Nov. Nom.).

La localidad tipo se ubica entre las latitudes S 26°40'08" (al norte) y 26°41'49" (al sur) y las longitudes O 65°42'53" (al este) y 65°45'18" (al oeste). Litológicamente está constituida por rocas de caja cuya texturas y estructuras relícticas indican que en su origen fueron los esquistos listados (inicialmente descriptos en el territorio por Rassmuss, 1918) y que, en la comarca se hallan, en gran medida, modificados por procesos de muscovitización, turmalinización, venulación cuarcífera fina, craquelamiento de amplia distribución areal y masiva cementación de las brechas por venas de cuarzo con turmalina en mesoformas agmáticas, flebíticas y ptigmáticas, formando un típico stockwork.

Ruiz Huidobro (1972) describe por primera vez esta rocas, afirmando que se trata de esquistos cuarzo micáceos bandeados. Por su parte Toselli *et al.* (1998) menciona: «en determinados sectores de la sierra, desde la Cañada del Alazán... o en las cercanías de las Lagunas de Vaca Huasi puede observarse un cambio en la fábrica de la roca metamórfica, que es la aparición de venas y diques aplíticos y pegmatíticos o de formas intrusivas lenticulares o tabulares que modifican notablemente la roca original dando lugar a lo que se conoce como migmatitas de inyección».

La definición de migmatita propuesta por Mehnert (1968), es: «Roca megascópicamente compuesta por dos o más partes petrográficamente diferentes, una es la roca de caja, en mayor o menor estadio metamórfico, la otra es de apariencia pegmatítica, aplítica, granítica o generalmente plutónica».

Por su parte, el American Geological Institute (1966) las define como: «Roca compuesta producida por la inyección de magma granítico en esquistos bajo la forma «lit par lit».

Turner y Verhoogen (1963) afirman que: las migmatitas se componen de dos elementos litológicos íntimamente mezclados: uno es la roca regional diversamente alterada por metamorfismo y metasomatismo; el otro es granítico».

Es indiscutible que el término «migmatita» abarca en su composición la existencia de un neosoma granitoide. En nuestro caso el aporte hidrotermal epigenético no involucra, bajo ningún aspecto, la existencia de material magmático plutónico, sino una facies hidrotermal-pneumatolítica prioritariamente cuarcífera, por lo que debe descartarse de plano su caracterización como migmatita.

Nuestro disenso con Toselli *et al.* (1998) no es una sutileza, sino que diferencia productos geológicos generados en condiciones

muy contrastadas:

- en el área de estudio una granodiorita de epizona intruye (en avanzado estadio de cristalización) un macizo esquistoso, cuya rigidez relativa promovió una tectónica diapírica que craqueló intensamente la caja. Las fisuras generadas se rellenaron con cuarzo póstumo de dos generaciones. La roca formada es un stockwork.
- Las migmatitas se generan a mayor profundidad relativa, donde confluyen las condiciones magma-migma-anatexis, típicas de ambiente de catazona (Buddington, 1959).

Stockwork similares han sido descriptos por Gianfrancisco *et al.* (1999) en las Cumbres de Raco y por Vergara *et al.* (1999) en la Quebrada del Portugués, en ambos casos de indudable filiación hidrotermal.

El área tipo de las rocas descriptas es la cúspide de las Cumbres Calchaquíes (alrededor de la latitud S 26° 41'), pertenecientes al Sistema del Aconquija en el área de las Sierras Pampeanas, Tucumán, Argentina.

Los afloramientos se extienden en un área superior a los 30 kilómetros cuadrados y su identificación geológica precisa surge de las texturas, estructuras y características petrológicas. Asimismo, las fuertes anomalías auríferas que poseen permiten incluirlas en una unidad formacional que proponemos nominar Formación Cañada del Negrito.

Para facilitar la descripción caracterizaremos como ectinitas aquellas rocas con inyección cuarzosa inferior al 5% en volumen, y como embrechitas donde el aporte cuarcífero ha sido mayor.

La distribución areal de ambas variedades es aleatoria, aunque se verificaron mayores aportes cuarcíferos en la ladera oriental del cerro El Negrito, y sectores con invasión superior al 80% en las Lagunas de Vaca Huasi, donde la venulación cuarcífera adopta típicos colores anaranjados (ya descripto por Ruiz Huidobro, *op. cit.*)

Las ectinitas. Son rocas metamórficas caracterizadas por una estructura bandeada, en las que se observa alternancia de bandas leucocráticas (cuarzo + plagioclasa) con otras melanocráticas (biotita + muscovita, eventualmente granate). Esta foliación tiene espesores variables entre 3 y 7 milímetros. En el interior de las capas oscuras las micas se orientan oblicuamente a dicha foliación, originan la primera esquistosidad (S_1) de la roca. Posteriormente se desarrolla una esquistosidad de transposición (S_2) con recristalización de biotita que forman un ángulo de 20° con la anterior, aproximadamente. El grado de metamorfismo corresponde a la facies esquistos verdes. Las paragénesis minerales observadas son cuarzo + plagioclasa + biotita y cuarzo + biotita + granate, correspondiendo al bajo grado de metamorfismo regional. Como consecuencia del magmatismo plutónico se observa, en los esquistos próximos al contacto intrusivo, metamorfismo térmico, con recristalización parcial de cuarzo-biotita, sin llegar a constituir cornubianitas. Las estructuras córneas están restringidas al Filo Bayo, en «roof pendants» de metamorfitas intercaladas en la cúpula intrusiva; y, donde tienen grano fino, notable turmalinización y alternan con fajas de grano grueso formadas por cuarzo - andesina básica – biotita – apatita – granate – circón -opacos.

Las embrechitas. Están formadas por un paleosoma esquistoso y un neosoma cuarzo-turmalínico, que definen estructuras agmáticas, flebíticas y ptigmáticas (de acuerdo a la clasificación de Mehnert, 1968). En todos los casos el neosoma es epigenético y discordante con las estructuras de las metamorfitas; se forma por material aportado por el intrusivo granodiorítico que invadió la caja por fisuras rectilíneas de diseño dispar (agmátitas y flebitas) ó, en menor grado, siguiendo diseños tortuosos replegados. El origen de este aporte venular son procesos tardío y postmagmáticos que poco tienen que ver (más que sus mesoformas) con la fenomenología migmatítica. Las venas de cuarzo que rellenan macizos de metamorfitas craqueladas, descriptas en otros distritos auríferos de esta unidad morfoestructural (Vergara *et al.*, 1998 a y b y Gianfrancisco *et al.*, 1999) son de origen hidrotermal, con

vinculación directa a su fuente magmática. En las proximidades del contacto con el plutón (Cañada del Bayo) las venas tienen exiguo aporte plagioclásico (andesina básica). Son parches aislados, vigorosamente reemplazados por cuarzo y con intensa muscovitización, sericitización y caolinización, relictos de cristales mayores de plagioclasa isoorientados en medio de una masa cuarcífera epigenética y evidencian que la primera etapa del proceso de venulación fue plagioclásica.

3.1. Ordovícico medio (?). Formación Cerro Bayo (Nov. Nom.).

Ruiz Huidobro (1972) menciona: «en el faldeo oriental del cerro Negrito aflora un cuerpo porfiroide que en un principio se clasificó como granito pero que resultó una granodiorita...». A los efectos de clarificar la toponimia de la comarca , es menester aclarar que la granodiorita, mencionada por el citado autor no aflora en el Cerro El Negrito sino en el cerro Bayo (fig. 1), localizado a 1,3 kilómetros al ESE del anterior. La localidad tipo de este intrusivo es la cumbre, de la que tomamos su denominación, localizada en la latitud S 26° 41' 23" y la longitud O 65° 42' 39". Desde allí se extiende hacia el sur hasta el cerro Alto de las Nieves (6.348 m.s.n.m.) intercalando «roof pendants» de metamorfitas. A los S 26° 41' 52" se abre un lóbulo del intrusivo hacia el oeste, formando el Filo Bayo, llegando los afloramientos hasta la longitud O 65° 43' 55".

No obstante lo expuesto, es importante citar que la granodiorita también se extiende notoriamente hacia el este del filo cumbrero del macizo serrano, hasta longitudes geográficas aun no determinadas. Es indudable que este plutón recién presenta exiguos afloramientos de su cúpula, por lo que, sus dimensiones subterráneas se infieren sensiblemente mayores a las observadas. El área tipo de afloramientos se localiza en el sector de la cúspide de las Cumbres Calchaquíes, al sur del cerro Bayo, en el Sistema del Aconquija, perteneciente al ambiente morfoestructural de las Sierras Pampeanas, Tucumán, Argentina. La entidad formacional propuesta es una roca con amplia distribución territorial, cuya importancia geológica y económica radica en ser mineralizante de oro y tierras raras en la caja esquistosa.

Es una roca granular gruesa, frecuentemente porfiroide, con grandes cristales de microclino donde se advierte, mesoscópicamente, maclado Carsbald. La biotita se agrupa en nidos fusiformes, o dispersa en forma homogénea. En los especímenes frescos la plagioclasa es blanquecina, presenta igual abundancia que el microclino (rosado) pero en cristales más pequeños. Los cristales porfíricos de feldespato tienen un máximo desarrollo rondando los 2,5 centímetros de longitud, aunque hay sectores donde la roca es de grano grueso, homogénea. Son escasos los xenolitos fusiformes, dispuestos en forma paralela a la elongación del microclino, otorgándole aspecto fluidal al granitoide.

El color de la plutonita varía entre un gris pardusco claro (fuera del núcleo mineralizado) hasta rosado rojizo (en las áreas con mayor tenor aurífero), siendo frecuente que sus diaclasas tengan tinción rojiza. Al microscopio muestra textura granular hipidiomórfica. La plagioclasa ocurre en tablas subhedras, macladas según albita-carsbald, raramente periclino. Es zonal con un núcleo más cálcico alterado a caolín – sericita - muscovita (raramente calcita) y una delgada zona de borde. Su composición varía desde andesina media (a los 65°43'40" de longitud oeste) hasta andesina básica - labradorita media (a los 65°43' oeste, en el núcleo mineralizado). En contacto con microclino desarrolla parches mirmequíticos vermiformes, formando típicas formas exsolutivas por reemplazo (de acuerdo a Mehnert, 1968). El contenido medio total de plagioclasa en la roca ronda el 20-25%. En la cúpula del plutón la alteración es casi total, siendo notoria la muscovitización epigenética.

El microclino es tardío, con una abundancia relativa del 25-30%, y ocurre en dos generaciones bien diferenciadas:

- como cristales porfíricos, con moderada alteración caolínico-sericítica, con maclado imperfecto y deformaciones cataclásticas; y

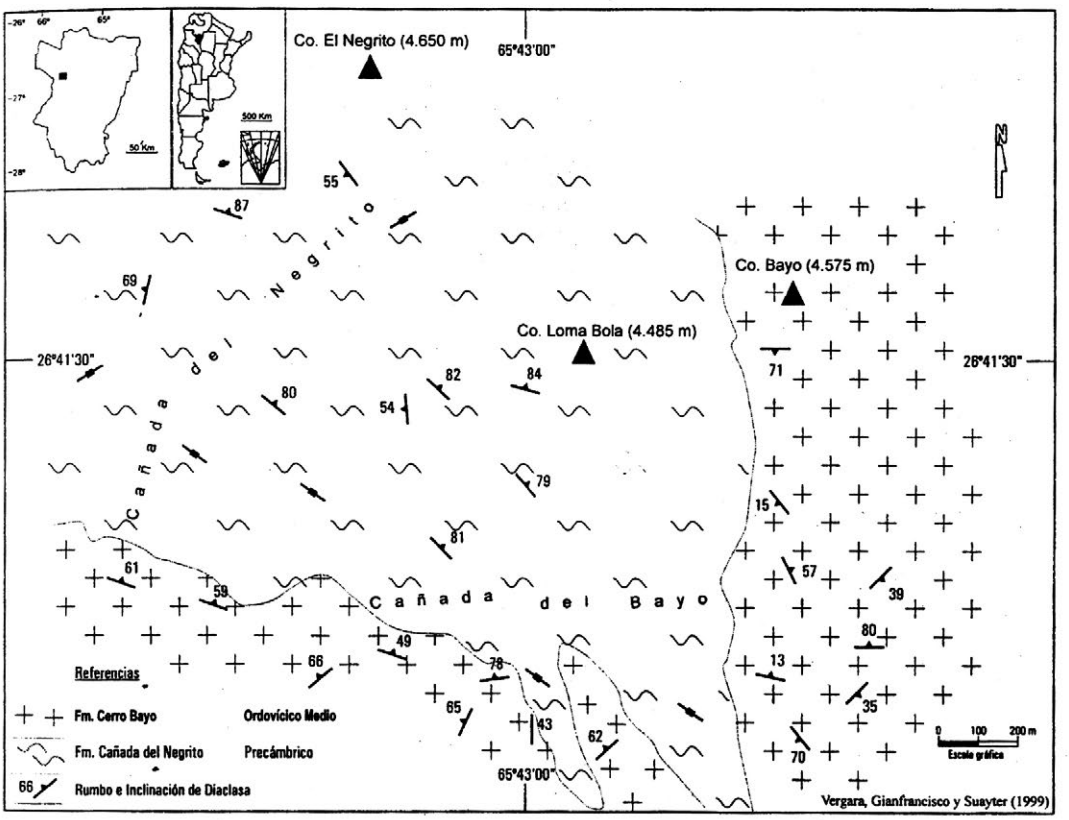

Fig. 1. Núcleo mineralizado «Cañada del Bayo». Mapa geológico.

• en pequeñas masas anhedras, límpidas intersticiales que, en áreas mineralizadas, ocluye cristales subhedros de turmalina.

Corroe intensamente a la plagioclasa, mucho más alterada, a la que puede incluir formando pertitas (de reemplazo), de contornos irregulares, con abundantes mirmequitas. Las pertitas exsolutivas, filiformes, son escasas. El cuarzo, anhedro, representa el 20-40% del total de la roca, y su grado de cataclasis crece hacia la zona mineralizada. Otro tanto ocurre con las inclusiones fluidas que, hacia el borde occidental del prospecto, son aisladas; en sectores intermedios se disponen venillas subparalelas; y, en la cúpula intrusiva, abundan formando un curioso diseño donde las venillas se entrecruzan.

La biotita, en dos variedades, la común (pardo verdosa) y la titanífera (pardo rojiza), se presenta en láminas anhedras aisladas de buen desarrollo, o agrupadas en nidos de textura lepidoblástica. Su contenido en roca es del 10-15%, está asociada con apatita y circón, alterada a muscovita y hematita roja granular. Minerales opacos, de origen tardío y posmagmático, se depositan, inicialmente, en los bordes de las láminas de mica, luego se instalan en los planos de clivaje, incrementando su contenido hasta el reemplazo pseudomórfico masivo. Son escasos los subhedros bien desarrollados de granate. Los cristales idiomórficos de circón alcanzan hasta 0,3 milímetros de longitud, pudiendo estar asociados a biotita, incluidos en plagioclasa o dispersos intersticialmente, con una abundancia del 2%.

4. Petrología y geoquímica de la granodiorita

Los análisis de los elementos mayores y trazas sitúan a esta plutonita (Vergara, *et al.*, 1998b) dentro del campo de las rocas magmáticas calcoalcalinas, con contenidos de sílice entre el 63-69%. Asimismo, la relación molar $Al_2 0_3$ / Ca O + Na_2 O + K_2 O de valor 1,2 distingue estas rocas como peraluminicas, como lo sugiere la presencia de biotita en el intrusivo y de turmalina postmagmática en la roca de caja. Dicho parámetro puede emplearse como un indicador de origen, que en este caso sugiere intervención de material cortical en la formación del magma granodiorítico.

5. Alteración hidrotermal vinculada a mineralización

5.1. Alteración y mineralización de las metamorfitas. Esta rocas, en la Cañada del Bayo, están enturbiadas por intensa alteración caolínico-sericítica. Conservan primitiva foliación, con alternancia de bandas granoblásticas cuarzo-plagioclásicas con capas lepidoblásticas biotíticas. La mica se reorientó y definió esquistosidad que marcó un ángulo (S_1) de 40-50° con la foliación. Oblicuamente a la esquistosidad hay láminas bien desarrolladas de muscovita epigenética generada en la acción hidrotermal. Abunda la turmalina en las capas micáceas, y a ella se asocian los subhedros de opacos de grano fino a medio, que también reemplazan biotita. En la zona de mayor mineralización con opacos hay fajas epigenéticas transversales, cloritizadas. Son escasos los agregados de grano fino de granates incoloros y pistacita. Las escasas plagioclasas están reemplazadas por caolín, sericita, clorita, turmalina y opacos. En la Cañada del Negrito, las turmalinas ocurren en venas cuarcíferas epigenéticas de segunda generación, diseminadas en la caja, en los contactos con las venas o dispersas en las mismas.

No obstante, la primera fase del proceso mineralizante fue la greisinización de las metamorfitas, acompañada de un flujo de turmalinización con opacos de grano fino. Estas rocas presentan un masivo remplazo por muscovita en laminillas de variadas dimensiones (de grano fino a medio) formando un típico greisen. La segunda fase son venillas finas, replegadas, de cuarzo asociadas a subhedros de arsenopirita. Por último se craquelaron intensamente los macizos rocosos, formando una brecha de gran extensión territorial, que, póstumamente, fue rellenada por venas gruesas de cuarzo, con una primera fase turmalínica, luego relleno de fisuras por cuarzo con turmalina y electrum de grano grueso (50-100 micras) dispersos.

5.2. Alteración hidrotermal y mineralización de la granodiorita. Afecta, prioritariamente, a plagioclasa y biotita. Los feldespatos calcosódicos están entre un 20% y el total reemplazados por sericita-caolín-muscovita. La biotita, por su parte, se desferriza a muscovita y está reemplazada vigorosamente por opacos. Estos fenómenos son coincidentes con la presencia de inclusiones de turmalina en el feldespato potásico, cuya exigua alteración contrasta con la notoria descomposición de plagioclasa-biotita. Por ello, entendemos que los volátiles, y la subsecuente mineralización, ingresaron con las fases magmáticas tardías cuando cristalizaba la segunda generación de microclino, tardío e intersticial. La venulación hidrotermal cuarzo-turmalínico-plagioclásica está exclusivamente en la caja esquistosa y el feldespato potásico se restringe al núcleo estructural del plutón.

6. Estructura

En la figura 1 (mapa geológico) puede observarse que los principales fracturamientos que afectan a las rocas en el área del prospecto son las diaclasas, que tienen diseño contrastado en el plutón y las metamorfitas encajantes. El intrusivo muestra, predominantemente, diaclasamiento con rumbo tangencial al contacto con la caja, inclinan-

do hacia ella entre 49° y 78°; siendo restringidos los juegos que lo hacen hacia el cuerpo granodiorítico (de rumbos sudeste y sudoeste) y escasos los que buzan al noreste.

Las metamorfitas, por su parte, muestran un juego vertical, cuyo rumbo ronda los 312°, coincidente con la dirección de sepultamiento del intrusivo; y otro de rumbo 244°, también vertical, imputables ambos a un alivio aparente al esfuerzo de emplazamiento.

Hacia la Cañada del Negrito, donde la granodiorita se infiere subyacente, el diaclasamiento converge según su rumbo subterráneo supuesto, siendo divergentes las inclinaciones, que varían entre 54° y 87° hacia el noroeste y noreste. El diseño global es un domo, aguzado hacia el noroeste, conformando una típica estructura diapírica, formada por respuesta al esfuerzo de combamiento impuesto por el empuje ascensional del intrusivo.

El brechamiento previo de las metamorfitas, rellenado por la mineralización, para formar un típico stockwork, es de tal densidad e irregularidad, que resulta muy problemático clarificar algún diseño aparente.

7. La mineralización

7.1. Los procesos mineralizantes. La secuencia posible, que proponemos para la mineralización detectada, ha sido:

- Intrusión granodiorítica por inyección forzada, con craquelación de la caja y autoclasis del plutón.
- Alteración hidrotermal, con greisinización predominante y caolinización-cloritización subordinadas.
- Turmalinización acompañada por mineralización de xenotima, monazita, apatita, rutilo, circón y magnetita manganotitanífera, epigenéticos en biotita y plagioclasa.
- Venulación cuarzosa de grano fino y recorridos tortuosos.
- Segunda fase de fracturación, de amplia venulación territorial.
- Aporte de fluidos de alta temperatura, metamorfizando a grado biotita-granate los esquistos greisinizados.
- Segunda fase de turmalinización, tapizando las paredes de las fisuras a continuación de los productos de metamorfismo de contacto (biotita y granate).
- Relleno total de las fisuras por cuarzo varicolor con turmalina, pirita, arsenopirita y aislada calcopirita con electrum (50-100 micras) disperso en el cuarzo ó implantado (en chispas de 1 a 5 micras) prioritariamente reemplazando biotita de los esquistos. Estas venas cuarzosas tienen mesoformas flebíticas, agmáticas y ptigmáticas; sus potencias oscilan entre 0,5 y 15 centímetros y comprometen del 5 al 20% de las rocas.

La fenomenología descripta se circunscribe a la caja esquistosa; en las plutonitas, si bien la alteración hidrotermal predominante es la muscovitización esta no es masiva, es escasa la turmalina y la mineralización es un diseminado de magnetita, magnetita titanífera, monacita, circón, apatita y electrum implantados en biotita y plagioclasa.

Los procesos mineralizantes fueron pulsatorios y recurrentes con dos fases de fracturación, turmalinización, mineralización y venulación; la última más conspicua. Los fosfatos de tierras raras (monacita-xenotima) asociados a apatita (en circunstancias con conspicuos contenidos de itrio) son indicios de ambientes filopegmatíticos

Por su parte, la asociación greisen-turmalina es característica de depósitos hipotermales.

La localización de facies pegmatoides-hidrotermal-pneumatolìticas en las proximidades del intrusivo son, acorde a Varmaloff (1968) indicios de escasa profundidad y emplazamiento, y rápido enfriamiento, del plutón, el que, siguiendo a Buddington (1959) sería un cuerpo de epizona.

La venulación cuarcífera, restringida exclusivamente a la caja metamórfica, forma una típica estructura stockwork.

7.2. Metalografía. La granodiorita, en los estudios calcográficos realizados en el Filo bayo muestra mineralización de magnetita, pirita, arsenopirita y electrum; la primera implantada sobre biotita y alterada a hemati-

ta-limonita. Los sulfuros y sulfuarseniuros están homogéneamente dispersos en la roca, en granos xenomorfos o en idioblastos de hasta 0,3 milímetros de diámetro. Los esquistos de la Cañada del Bayo, próximos al contacto con el plutón tienen reemplazo casi total de biotita por magnetita y diseminación (5%) de arsenopirita granular xenomorfa con superficies corroídas por la oxidación. El electrum, en chispas submicroscópicas, es más abundante en las folias biotíticas que en las cuarzosas. En la Cañada del Negrito, en ambiente de esquistos biotíticos localizados a más de un kilómetro del intrusivo granodiorítico, se observa magnetita implantadas en las folias biotíticas, y pirita diseminada, que incrementa su abundancia en las venas cuarcíferas, donde, con diámetros promedio de 100 micras, puede ocurrir en cristales idiomorfos a subidiomorfos. El electrum está disperso en el esquisto en chispas submicroscópicas, en tanto que en las venas cuarcíferas alcanza hasta 100 micrones de diámetro, en laminillas intersticiales de contornos irregulares.

Se ha realizado investigación microsonda en el Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad Nacional de San Juan, con los siguientes resultados:

- Mineralización observada en la granodiorita: apatita, monacita, circón, magnetita titanomanganesífera y rutilo.
- Mineralización observada en la caja esquistosa: apatita, xenotima, monacita, circón, magnetita, rutilo y magnetita titanomanganesífera.

7.3. Quimismo asociado a la mineralización. El prospecto estudiado es una manifestación aurífera, donde se detectaron las

siguientes anomalías geoquímicas, promedio de toda el área:

Debemos destacar que los máximos registros de plata (2.030 ppb) corresponden a solo 73 ppb de oro; en tanto que para el mayor tenor aurífero (770 ppb) la plata decrece a solo 230 ppb. Los mayores contenidos argentíferos, exiguos de por sí, disminuyen al incrementarse el oro en las rocas.

7.4. El núcleo mineralizado. El stockwork asociado a greisen turmalínico se localiza en la cúpula del intrusivo, con enriquecimiento en la caja esquistosa. En el borde meridional del área mineralizada (Cañada del Bayo) el plutón se sepulta con rumbo 310° bajo la cubierta metamórfica. No obstante, el área con anomalías auríferas mayores que 90 ppb continúa más de seis kilómetros con ese rumbo, sin que vuelva a florar la granodiorita, que, se infiere, acompañaría el fenómeno en profundidad (figura 1).

El muestreo prospectivo preliminar se realizó con espaciados de 500 metros, definiéndose un máximo contenido de 540 ppb de oro. En la segunda etapa del muestreo, con espaciados de 200 metros, se centró la malla en el núcleo detectado permitiendo definir, con mayor precisión: (véase Fig. 2)

- En las proximidades de la muestra 21 (540 ppb, figura 2) se extrajeron rocas con leyes auríferas de 379, 565, 610 y 770 ppb de oro, ratificando y potenciando la anomalía.
- La mineralización desaparece al este y sur de la Cañada del Bayo, con leyes entre 0 y 60 ppb de oro.
- Habría un núcleo enriquecido, con más de 200 ppb de oro con 1.430 m. de corrida, 890 m. de ancho y 430 ppb de ley media de oro, en un área aproximada a las 127 Ha.

8. Conclusiones

- El prospecto de investigación preliminar es un diseminado formado por un stockwork generado en facies pegmatoideas, greisen turmalínico y venulación cuarzo-turmalínica vinculados a la tectónica diapírica y el aporte de fluidos mineralizantes derivados del emplazamiento de un plutón granodiorítico.
- El proceso mineralizante fue pulsatorio, alternando con fases de brechamiento. Hubo secuencialidad de etapas, la primera, con diseminación de apatita, circón, xenotima, monacita, magnetita titanomanganesífera y rutilo, caracteriza ambiente filopegmatíticos.

• La segunda fase, precedida de un masivo brechamiento, son venas cuarcíferas turmalínicas, asociadas a laminillas dispersas de electrum, y caracteriza, con el greisen asociado, condiciones hipotermales

• La amplia extensión territorial y los importantes tenores de oro detectados en el núcleo mineralizado, abren excelentes perspectivas para la continuidad de la exploración geológica (geofísica-geoquímica) del

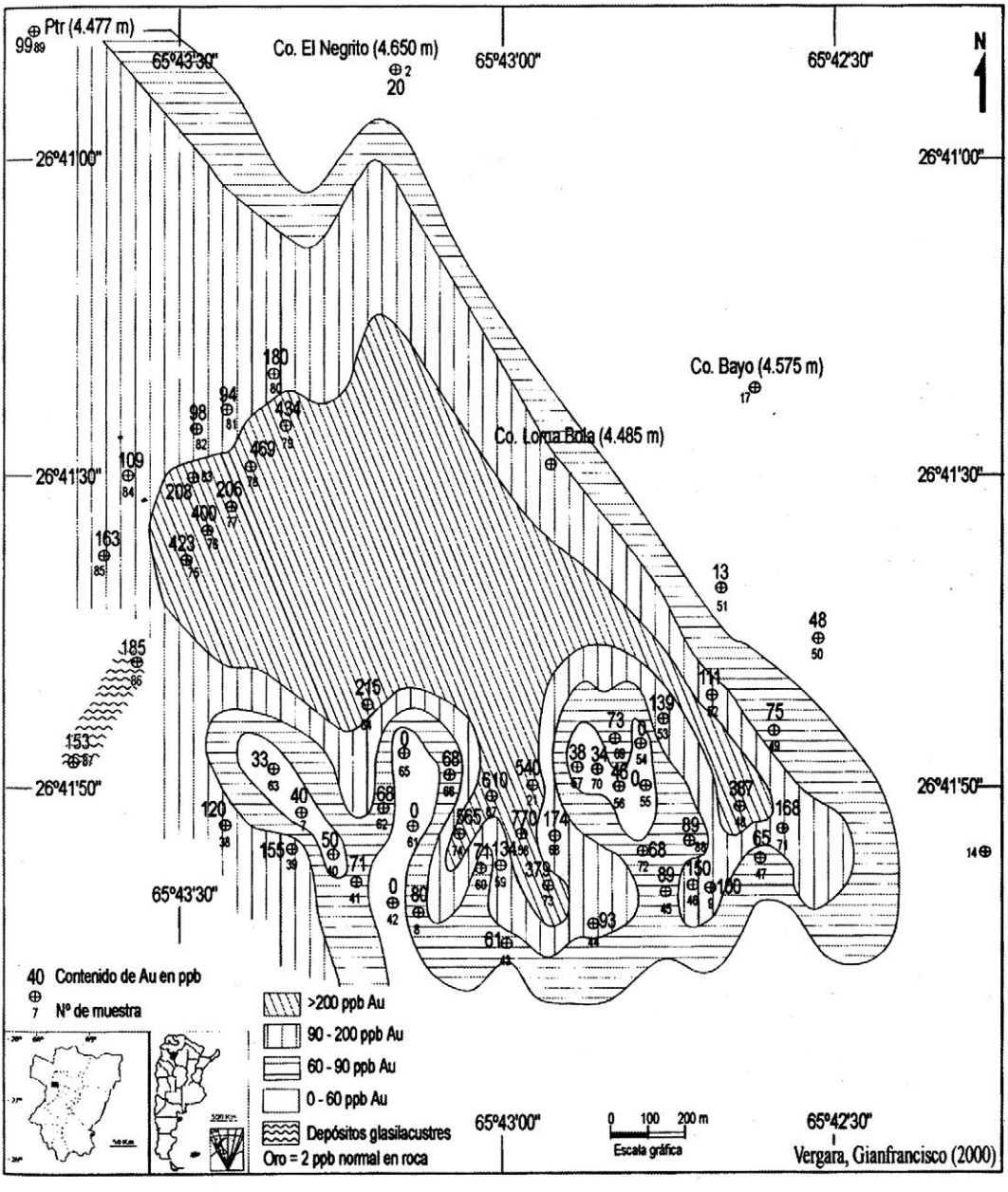

Fig. 2. Núcleo mineralizado «Cañada del Bayo». Mapa geoquímico de oro.

Tabla 1
Metales con tenores que exceden los valores normales en roca

Elemento	Valor normal Tonalita (W)	Registros promedios obtenidos
Cerio	53,0 ppm	99,0 ppm
Cromo	38,0 ppm	269,0 ppm
Neodimio	25,0 ppm	44,0 ppm
Níquel	18,0 ppm	35,0 ppm
Niobio	8,8 ppm	30,0 ppm
Torio	6,4 ppm	17,0 ppm
Samario	4,9 ppm	8,4 ppm
Hafnio	4,6 ppm	12,0 ppm
Cesio	3,2 ppm	7,2 ppm
Yterbio	2,7 ppm	4,0 ppm
Tantalio	1,1 ppm	9,0 ppm
Lutecio	370,0 ppb	600,0 ppb
Plata	40,0 ppb (K)	1.130,0 ppb
Oro	2,0 ppb (K)	430,0 ppb
Platino	0,4 ppb	37,0 ppb (*)
Paladio	0,4 ppb	3,0 ppb

prospecto, para determinar su factibilidad de explotación.

- Se menciona, por primera vez (aunque con datos de una sola muestra), una importante anomalía de platino y paladio en roca y la presencia de xenotima y monacita, en el territorio de la provincia de Tucumán.
- Los elevados tenores detectados de uranio, torio, cesio, hafnio y tierras raras (junto con los importantes registros de oro obtenidos) abren un importante marco de prefactibilidad que coherentiza la realización de una exploración intensiva del prospecto.

Lista de trabajos citados en el texto

American Geological Institute. 1966. Glossary of Geology and Related Sciences. 398 pp.

Buddington, A. F. 1959. Granite emplacement with special reference to North America. American Jornal Science, Vol. 70.

Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, I: 225-291.

Gianfrancisco, M. & G. A. Vergara. 1998. Informe preliminar de prospección auríffera en las Sierras Pampeanas de Tucumán y La Rioja. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, T III: 142-147. Buenos Aires.

Krauskopf, K. B. 1979. Introduction to Geochemistry. Mc Graw Hill Co. Tokyo. 545 pp.

Mehnert, K. R. 1968. Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier Publishing Co. , Amsterdam 393 pp.

Rassmuss, J. 1918. La sierra de Aconquija. I Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales. Physis: 47-69. Buenos Aires.

Ruiz Huidobro, O. J. 1972. Descripción geológica de la hoja 11e, Santa María, provincias de Catamarca y Tucumán. Carta geológico-econ{omica de la República Argentina, Bol. 134: 64 pp.

Toselli, A. J. & J. N. Rossi. 1998. El basamento metamórfico-ígneo de las Sierras Pampeanas de la provincia de Tucumán. Geología de Tucumán, 2ª edición: 47-56. San Miguel de Tucumán.

Turner F. J. & J. Verhoogen. 1963. Petrología ígnea y metamórfica. Ed. Omega. Barcelona. 726pp.

Varmaloff, H. 1968. Importance des fenomenes pulsatories dans les processus postmagmatiques des granitoides. Inter. Geol. Cong. Rep. 23rd. Seas. Praga.

Vergara, G. A., M. Gianfrancisco & L. E. Suayter, 1998a. Descubrimiento de oro en las Cumbres Calchaquíes, provincia de Tucumán. Revista Panorama Minero 222: 18-22.

Vergara G. A., M. Gianfrancisco & L. E. Suayter. 1998. Descubrimiento de oro en las Cumbres Calchaquíes, provincia de Tucumán. Panorama Minero, 222: 18-22. Buenos Aires.

Vergara, G. A., M. Gianfrancisco & D. A. Indri. 1998. Estudio preliminar sobre el descubrimiento de mineralización aurífera en las Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, T III: 137-141. Buenos Aires.

Vergara, G. A., M. Gianfrancisco & L. E. Suayter. 1999. «Oro del Kalchakí», una puerta abierta al futuro de la minería metalífera de Tucumán. Panorama Minero, 237: 43-46. Buenos Aires.

Wedephol, K. H. 1995. The composition of the continental crust. Geochimica el Cosmochimica. 59 (7):1.217-1.232.

Fecha de ingreso: 30/09/98
Fecha de aceptación: 25/07/00