

Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina

1:250.000

Carta Minero-Metalogenética 2969- I Pastillos



Perforación en Josemaría

Provincias de La Rioja y San Juan

Oswaldo Cravero

Colaboración: Carlos Herrmann y Marta Godeas

Geoquímica: Andrea Turel

Geofísica: Pablo Johanis



INSTITUTO
DE GEOLOGÍA
Y RECURSOS
MINERALES

SEGEMAR

SERVICIO GEOLOGICO
MINERO ARGENTINO

**Programa Nacional de Cartas Geológicas
de la República Argentina
1: 250.000**

Carta Minero-Metalogenética

2969- I Pastillos

Provincias de La Rioja y San Juan

Oswaldo Cravero

Colaboración: Carlos Herrmann y Marta Godeas

Geoquímica: Andrea Turel

Geofísica: Pablo Johanis

**SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN
SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS
MINERALES**

Boletín N° 384
Buenos Aires – 2009

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente Ing. Jorge Mayoral
Secretario Ejecutivo Lic. Pedro Alcántara

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director Lic. Roberto F. N. Page

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO - MINEROS

Director Dr. Eduardo O. Zappettini

SEGEMAR

Avenida Julio A. Roca 651 | 10° Piso | telefax 4349-4114/3115
(C1067ABB) Buenos Aires | República Argentina
www.segemar.gov.ar | info@segemar.gov.ar

Referencia bibliográfica

Cravero, O., 2009. Carta Minero-Metalogenética 2969-I Pastillos, provincias de La Rioja y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 384, 91 p., Buenos Aires.

ISSN 0328-2333

Es propiedad del SEGEMAR • Prohibida su reproducción

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. SÍNTESIS GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN GEOTECTÓNICA	3
3. METALOGÉNESIS	9
3.1. DESCRIPCIÓN DE DEPÓSITOS MINERALES Y ÁREAS DE ALTERACIÓN	11
3.1.1. DEPÓSITOS MINERALES	11
COBRE-ORO-MOLIBDENO, ORO-PLATA	11
Proyectos Vicuña y Josemaría	
PLOMO-CINC-PLATA	22
Las Carachas	
3.1.2. ÁREAS DE ALTERACIÓN	27
Peñas Negras (La Vicuña, La Ollita y Río Tamberías)	27
Área Río Bermejo	34
Área El Potro	35
Área Los Mogotes	40
Área Ritzuko	42
Área Río Blanco	43
Área Cerro Batedero o Arroyo Batedero	46
Área Río de la Flecha (o Termas del Inca)	47
Área Cerro Amarillo (Filo Amarillo)	48
Área Bordo Atravesado	50
Área Cordón del Inca	52
Área Pastos Largos	52
Área Ranchillos (Quebrada de Ranchillos)	54
Mina Margarita	55
Área Cajón de la Brea	56
Área Carnerito	56
Área Laguna de los Huaycos	58
Área Barreales de Ranchillos	58
Área Los Sapitos	60
OTRAS ÁREAS	61
3.2. FAJAS METALOGENÉTICAS	61
3.3. METALOTECTOS	63
3.4. ANOMALÍAS	64
3.4.1. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	64
3.4.2. ANOMALÍAS GEOFÍSICAS	65
3.4.3. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS	75

3.5. HISTORIA METALOGENÉTICA	84
3.6. CONCLUSIONES	85
4. FICHAS MINA	88
5. BIBLIOGRAFÍA	89

RESUMEN

La historia geotectónica regional del área de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos comprende en primer término la sedimentación neopaleozoica - cuyos exponentes afloran en el extremo sudoriental de la Carta -, luego rocas del arco magmático gondwánico expuestas principalmente en el cordón de la Brea y en el cordón Limítrofe en el noroeste de la Carta; continúan depósitos sin y post-orogénicos ocupando las áreas a ambos lados del cordón de la Brea, y por último el arco volcánico terciario que ocupa la mayor parte del cordón Limítrofe -en el oeste de la Carta- desde el cerro Caserones (28° 12' LS) hacia el sur.

Dos épocas de mineralización se definen a partir de las dataciones radimétricas con que se cuenta al momento: uno del Mioceno inferior que afecta y es coetáneo con las rocas de la Unidad Doña Ana, y otro en el Mioceno medio, que se relacionaría con equivalentes de la Formación Cerro de Las Tórtolas. La existencia de un episodio de mineralización más antiguo, de edad triásica, restringido al cordón de la Brea, es aún incierta.

En el área hay indicios de tres tipos principales de mineralización: tipo pórfiro, epitermal aurífera y polimetálica simple. Son posibles los sistemas porfíricos de Cu-Au y de Cu-Mo-Au en los prospectos de la Faja El Potro y los epitermales (alta sulfuración) en el cordón del Inca. Al este de la Faja El Potro, siempre en el cordón Limítrofe, pueden esperarse mineralizaciones más jóvenes relacionadas con equivalentes de la Formación Cerro de Las Tórtolas. En el cordón de la Brea se desarrollarían tanto mineralización vetiforme como sistemas porfíricos relacionados con rocas terciarias, en tanto que Los Sapitos y Barreales de Ranchillos, con mineralización aurífera, son zonas de alteración relacionadas con cuerpos andesíticos-dacíticos intrusivos que afectan a las sedimentitas paleozoicas.

ABSTRACT

The regional geotectonic history of the area of Pastillos Metallogenic Sheet comprises first the Neopaleozoic sedimentation, which has exposures that crop out in the south eastern corner of the Sheet, then rocks of the Gondwanic magmatic arc exposed in the cordón de la Brea and the cordón Limítrofe in the northwest of the Sheet; sin and post orogenic deposits follow, which occupy the areas at both sides of the cordón de la Brea, and at last the Tertiary volcanic arc that occupies the major part of the cordón Limítrofe -in the west of the Sheet- from the cerro Caserones (28° 12' SL) towards south.

Two mineralizing epochs are defined from the available radimetric ages which are available up to now: one of the Lower Miocene which affects and is coeval with the rocks of Doña Ana Unit, and the other one in the Middle Miocene, which would be related to equivalents of Cerro de Las Tórtolas Formation. The existence of an older episode of mineralization, of Triassic age, restricted to the cordón de la Brea, is still uncertain.

In the area, there are three main types of mineralization: porphyry-type, epithermal gold-bearing and simple polymetallic types. Cu-Au and Cu-Mo-Au porphyry systems in the prospects of El Potro Belt and epithermal (high sulfidation) systems in the cordón del Inca are possible. East of El Potro Belt, always in the cordón Limítrofe, younger mineralizations related to equivalents of the Cerro de Las Tórtolas Formation can be expected. In the cordón de la Brea vein-type mineralization as well as porphyry systems related to Tertiary rocks would develop, meanwhile Los Sapitos and Barreales de Ranchillos, with gold-bearing mineralization, are alteration zones related to andesitic-dacitic intrusive bodies that affect the Paleozoic sedimentary rocks.

1. INTRODUCCIÓN

El área de la Carta Minero-Metalogénica Pastillos comprende el oeste de la provincia de La Rioja y norte de la provincia de San Juan, extendiéndose hasta el límite entre la Argentina y Chile (fig. 1).

Dos fajas elongadas contienen grandes áreas de alteración hidrotermal con evidencia de mineralización de tipo pórfiro de oro y cobre-oro, además de potencial para la existencia de depósitos epitermales de oro-plata.

La información que se presenta en la Carta Minero-Metalogénica Pastillos fue obtenida a partir de numerosas campañas a la zona realizadas por Osvaldo Cravero, durante los años 1995 a 2000. Muestras recogidas en esas oportunidades fueron objeto de estudios petrográficos realizados por Ana Prieri, de la Delegación La Rioja del SEGEMAR, y mineralógicos mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR llevados a cabo por Marta Godeas. Otros datos se obtuvieron de estudios realizados en 1993 y



Figura 1. Ubicación de la Carta

En el oeste, en las mayores alturas, sobre el cordón Limítrofe, una zona que consiste predominantemente en volcanitas terciarias, denominada Faja El Potro, está comprendida entre la reconocida Faja Maricunga en Chile (mineralizaciones de tipo pórfiro aurífero y epitermal de oro y plata) al norte, y el distrito Pascua-Veladero (mineralización epitermal de alta sulfuración, de oro-plata) al sur. Hacia el este, el cordón de la Brea se compone de rocas volcánicas félsicas y unidades sedimentarias del Paleozoico, y rocas volcánicas y graníticas permo-triásicas; allí la exploración ha sido por oro y metales base.

1998 por consultores extranjeros, encargados oportunamente por la Secretaría de Minería de la Nación.

En 1999, estudios de JICA-MMAJ aportaron mayores datos a partir de análisis geoquímicos, inclusiones fluidas y dataciones. La interpretación de datos geofísicos de esta Carta correspondió a Pablo Johanis y la de datos geoquímicos a Andrea Turel, ambos del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR. Marta Godeas y Carlos Herrmann recopilaron todos los elementos mencionados para la elaboración final

de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos de acuerdo con la Normativa para la realización de Cartas Minero-Metalogenéticas elaborada por el SEGEMAR.

2. SÍNTESIS GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN GEOTECTÓNICA

El área comprendida por la Carta Minero-Metalogenética Pastillos pertenece al terreno Chilena, cuyo origen es desconocido; las plutonitas y parcialmente las volcanitas mesosilícicas que constituyen la Cordillera Frontal representan el arco magmático que sucedió a la sutura. Apenas medio grado al norte del límite de la Carta, Bahlburg y Hervé (1997) situaron el límite entre este terreno y el de Antofalla.

Un perfil este-oeste a lo largo del paralelo 28° 30' sur, correspondiente a la mitad del área de la Carta, muestra tres pilares tectónicos de rumbo NNO y similar altitud; ellos son: a) Sierra del Peñón, b) Cordón de la Brea-Cerro Carnerito-Cerro El Tambero, y c) Cordón Limitrofe.

Las rocas más antiguas con representación en el área de la Carta corresponden al **Grupo Chinguillos (D c RA)**, del Devónico, integrado por la **Formación Pircas Negras** y la **Formación Chiguas**. Son areniscas finas oscuras y pelitas gris verdosas que afloran en los cerros del Cachiyuyal, en el rincón sudeste de la comarca. Corresponden a depósitos de cuenca de antepaís, de amplio desarrollo en el Eopaleozoico de Cuyania. Estos sedimentos constituyen la roca de caja de la Granodiorita Tabaquitos y han sido convertidos en *hornfels* en la zona de contacto.

La **Granodiorita Tabaquitos (CI am γ)**, definida por Llambías y Sato (1990), comprende el plutón Tabaquitos, emplazado en el extremo norte del Batolito de Colangüil (provincia de San Juan). En el ámbito de la Carta aflora, al igual que las formaciones arriba mencionadas, en los cerros del Cachiyuyal y sus alrededores. En el paraje Los Sapitos es una roca de color gris rosado, de grano medio, maciza y homogénea. La integran cuarzo, ortosa, plagioclasa alterada a sericita y caolín, biotita y hornblenda. En La Angostura, Sato *et al.* (1990) mencionaron que la granodiorita está intruida por un enjambre de diques radiales de composición andesítica, diorítica y riolítica, con fuerte alteración a calcita, epidoto, clorita y arcillas. Las dataciones radimétricas arrojaron

edades de 326-329 Ma, que corresponden al Carbonífero inferior, coincidentes con el inicio del emplazamiento del Batolito de Colangüil (Llambías y Sato, 1990), y separan este plutón del resto del Batolito. Por lo tanto, la Granodiorita Tabaquitos es el exponente del primero de los dos períodos magmáticos que comprende el Batolito. Sato *et al.* (1990) señalaron sus características típicamente calcoalcalinas. De acuerdo con Llambías (1999), la Granodiorita Tabaquitos está comprendida en el magmatismo carbonífero del Ciclo Gondwánico, y forma parte de un arco magmático de rumbo norte-sur implantado principalmente en la Cordillera Frontal y en el borde noroccidental de la Precordillera, donde se adosan ambas unidades.

Para Llambías (1999), el marco tectónico de los cuerpos ígneos carboníferos sería un área de inestabilidad tectónica, pero sin un marcado engrosamiento cortical. El modelo que se corresponde con esta tectónica es el de una subducción de litósfera oceánica simple por debajo del continente, con desarrollo de un arco magmático y de fases orogénicas episódicas.

Llambías y Sato (1995) sostuvieron que las unidades ígneas permo-triásicas del Batolito de Colangüil son correlacionables con el ciclo magmático Choiyoi, formando parte del mismo episodio magmático.

La **Formación Punta del Agua (CSPi am γ)**, cuyo único afloramiento se ubica en la sierra de Punilla, al norte de Pastos Amarillos, en el borde oriental de la Carta, está integrada por aglomerados, brechas y coladas andesíticas que se intercalan entre los sedimentos de la Formación Ranchillos. Según Fauqué (2000), las observaciones realizadas en la Carta Geológica Tinogasta indican que el evento magmático que las originó consta de una fase extrusiva y otra hipabisal; esta última está representada por diques andesítico-dacíticos que cortan la base conglomerádica del Carbonífero superior. Dataciones radimétricas de volcanitas de la quebrada de Tuli, en el ámbito de la Carta Geológica Tinogasta, dieron edades de 287 y 295 millones de años (Carbonífero superior-Pérmico inferior). Remesal *et al.* (2004) realizaron la caracterización litoestratigráfica y el estudio petrológico de esta unidad, definiéndola geoquímicamente como una secuencia volcánica de afinidad calcoalcalina de alto potasio emplazada en un régimen orogénico, que caracteriza un margen continental activo, donde las rocas efusivas

representan los términos de arco magmático y los términos sedimentarios la sedimentación de intraarco. Estos autores señalaron que la Formación Punta del Agua prueba la existencia de volcanismo relacionado al arco magmático gondwánico en la Precordillera, genéticamente relacionado con las etapas iniciales de la eruptividad neopaleozoica de la cordillera de Colangüil.

En Los Sapitos y Barreales de Ranchillos, la **Formación Ranchillos (C c RA)** está integrada por areniscas micáceas verdosas predominantes, areniscas micáceas azuladas, cuarcitas claras y oscuras, areniscas blanquecinas con cemento carbonático y escasas intercalaciones de lutitas. Fauqué (2000) describió además horizontes conglomerádicos, tobáceos y margosos como integrantes de esta Formación. Fallas normales y corrimientos han producido descensos y ascensos diferenciales de los bloques sedimentarios. Fuerzas compresivas originaron un plegamiento de amplio radio de los estratos, excepto en áreas puntuales donde se observa fuerte deformación y ruptura, con formación de brechas tectónicas. En las cercanías de intrusiones graníticas, las areniscas y cuarcitas han sido transformadas en *hornfels*. Corresponden a depósitos de una cuenca de retroarco para los cuales Caminos *et al.* (1996) y Limarino *et al.* (1996) distinguieron un ambiente continental fluvial en el inicio del relleno de la cuenca, una posterior sedimentación marina litoral y un retorno a la sedimentación continental en la parte superior de la secuencia.

La **Formación Carnerito (PiTrS m αγp)** se divide en granitos y granodioritas, pórfiros riolíticos y pórfiros andesíticos. Los granitos y granodioritas afloran en el cordón de la Brea y el cordón Limítrofe. La unidad comprende, además de granitos y granodioritas *s.s.*, variedades tales como granito gráfico, granito aplítico, granófiro, y pórfiros graníticos, granodioríticos y sienodioríticos. Los granitos del cordón de la Brea se diferencian por su alto contenido en turmalina negra, abundantes vetas de cuarzo y filones pegmatíticos, que han sido inyectados en los sedimentos de la Formación Ranchillos, previamente intruidos y metamorfizados. En el cordón Limítrofe la turmalina está ausente, las venillas de cuarzo se restringen sólo a las zonas de alteración hidrotermal y se observan pegmatitas únicamente en el área Cerro Colorado. Los pórfiros riolíticos afloran en el cordón de la Brea, el cordón Limítrofe y la sierra de Punilla, siempre

asociados a los granitos y granodioritas, de los que son cogenéticos. Las relaciones de campo entre los granitos y granodioritas y los pórfiros riolíticos son variables. En la sierra de la Punilla y el cordón Limítrofe el pasaje de uno a otro es transicional; en Laguna de los Huaycos y Cajón de la Brea los granitos intruyen a los pórfiros; en Pastos Largos diques de pórfiro riolítico cortan al granito. No existen aún dataciones de los pórfiros; los granitos tienen edades desde el Pérmico inferior (280 Ma) hasta el Triásico superior (217 Ma), y, debido a que los granitos más viejos intruyen a los pórfiros, es probable que se hayan producido varios pulsos intrusivos de ambas entidades durante el Pérmico y Triásico.

El **Granito Los Mogotes (PTR m PC)** aflora en el río Los Mogotes y el área de alteración homónima. Sus afloramientos son granitos rosados, equigranulares, de grano mediano, compuestos por ortosa, cuarzo, plagioclasa y escasa moscovita, hornblenda y apatita. En el borde sur del prospecto Los Mogotes aparece una granodiorita de grano fino con biotita y hornblenda. En los afloramientos ubicados en ambas márgenes del río Los Mogotes las riolitas e ignimbritas del Grupo Choiyoi se apoyan en discordancia sobre el granito, lo que sugiere una edad pre-triásica para el mismo.

El **Granito Macho Muerto (PTR m PC)** aflora en la margen derecha del río Macho Muerto en su nacimiento por la unión de los ríos del Inca y Los Mogotes. La roca es de color rosado o castaño amarillento, inequigranular, de grano mediano a grueso. Los minerales esenciales son ortosa, cuarzo, plagioclasa y biotita, y los accesorios apatita, titanita y epidoto. Está cubierto por volcanitas terciarias de la Unidad Doña Ana y cortado por diques andesíticos cogenéticos de las mismas. Fauqué (2000) le asignó tentativamente una edad triásica.

El **Grupo Choiyoi (PTR am αp)** está muy bien expuesto en el rincón sudoeste de esta Carta, donde se lo encuentra en el límite con Chile a lo largo de 16 km sin interrupción. Afloramientos menores aparecen en Cajón de la Brea, al norte de la mina Margarita, en ambas márgenes del río Los Mogotes, en Bordo Atravesado y en el área de alteración El Potro. Integran este Grupo coladas y tobas andesíticas, dacíticas y riolíticas, e ignimbritas de textura fluidal y aspecto brechoso. Las relaciones con rocas del basamento son variables. En el río Los Mogotes hay una estrecha asociación, lo que indicaría que son coetáneos; en

Bordo Atravesado cubre areniscas carboníferas silicificadas y es cortado por granitoides. En El Potro yace en discordancia sobre los granitos; en el cordón Limítrofe la base no ha sido observada.

De acuerdo con Llambías (1999) estas rocas forman parte de la asociación volcánica del Grupo Choiyoi en el cinturón orogénico gondwánico, con una característica de asociación post orogénica en un marco tectónico de arco magmático relacionado a la etapa final de subducción, o bien una transición de subducción a intraplaca, siempre con fuerte herencia de arco magmático, y en un ambiente de tectónica extensional de relajamiento.

Otros afloramientos que se asignan a este Grupo se observaron en las áreas Cerro Colorado, Comecaballos y Laguna de los Huaycos. En la primera, los granitos de la Formación Carnerito están parcialmente cubiertos por brechas y flujos riolíticos, algunos de estos con claro diaclasamiento columnar. En la segunda, sobre los granitos de la misma unidad afloran brechas explosivas con xenolitos de otras riolitas de pasta más gruesa, y crestones de riolitas fuertemente silicificadas. En Laguna de los Huaycos, riolitas e ignimbritas integran un afloramiento en forma de cuña, limitado por fallas, y se apoyan en discordancia sobre sedimentos carboníferos.

La **Formación Las Chapitas (K? d c)** está integrada por conglomerados de color morado con rodados de riolitas y andesitas, y areniscas verdosas. Aflora en el portezuelo de Las Chapitas, en las nacientes de la quebrada de Peñas Negras, en la quebrada de La Angostura y en el cerro Chuscho. En la quebrada de Peñas Negras alcanza un espesor de 150 m, y está integrada por una secuencia conglomerado-areniscas-conglomerado que inclina 45° al naciente, presentándose como una faja N-S limitada por fallas. En los restantes afloramientos se disponen con rumbo N 20° O a N 20° E e inclinaciones variables al E y O. Los clastos de volcanitas de los conglomerados pertenecen al Grupo Choiyoi. Por otra parte, la Formación ha sido intruida por pórfiros andesíticos y dacíticos de la Formación Peñas Negras (32-36 Ma). Estas relaciones de campo permiten considerar que estas sedimentitas se formaron durante un ciclo sedimentario desarrollado posiblemente durante el Cretácico, en ambiente de cuenca sedimentaria continental.

La **Formación Río La Sal (TPa c RA)** se presenta como reducidos afloramientos ubicados en el flanco derecho del valle del río homónimo, en el

rincón sudoeste de la comarca, extendiéndose hacia el sur en la Carta Malimán, donde ha sido descripta por Groeber (1951), TEA (1968), Reutter (1974) y Nullo y Marín (1992), entre otros. Es un potente paquete sedimentario integrado por conglomerados, areniscas gruesas y finas, pelitas, calizas, margas, niveles de yeso, brechas extrusivas y coladas riolíticas. La tonalidad del conjunto es rojiza, pero hay niveles de color gris, amarillo, morado, lila y rojo pálido. Los componentes de estos sedimentos son de origen mayoritariamente volcánico, transportados por sistemas fluviales entrelazados y depositados en cuencas relativamente estables. La intercalación de coladas riolíticas indica actividad volcánica durante el periodo depositacional. El tramo inferior de la Formación muestra un neto predominio de conglomerados y areniscas gruesas, mientras que el superior está integrado esencialmente por areniscas de grano fino, pelitas, evaporitas y escasos horizontes conglomerádicos. Por relaciones estratigráficas se le asigna una edad paleocena.

Las rocas volcánicas terciarias en el área de la Carta consisten en una unidad basal de rocas de retroarco de composición predominantemente andesítica que forman campos erodados de flujos lávicos y unidades piroclásticas; además aparecen pequeños domos negros compuestos por basaltos. Unidades volcánicas suprayacentes que comprenden el núcleo de la Cordillera consisten en rocas de arco dacíticas a andesíticas. En sectores, la comarca se caracteriza por una compleja interdigitación de eventos volcánicos a los que se asocian depósitos sedimentarios coetáneos, ocurridos durante el Paleógeno y principalmente el Neógeno.

La **Formación Tobas Multicolores Valle del Cura (TE v RA)** aflora en el cuadrante sudoeste de la comarca, en ambos flancos del valle del río La Sal. El cuerpo principal es una faja de 25 km de largo paralela al río mencionado, limitada al oeste por una falla inversa que la pone en contacto con sedimentos del Pleistoceno. Está integrada por conglomerados, areniscas, tobas multicolores, andesitas, brechas e ignimbritas. Fue asignada por diversos autores al Mioceno; sin embargo, dataciones K/Ar en andesitas indican una edad eocena (Limarino *et al.*, 1999). Según Litvak y Poma (2005), dentro del contexto tectónico de los Andes Centrales, durante el Eoceno tardío-Oligoceno temprano, la actividad volcánica se atenuó en concordancia con un período de rápida

convergencia oblicua ente las placas Farallón y Sudamericana. A la latitud del valle del Cura, el frente volcánico se ubicaba en territorio chileno, donde está representado por las intrusiones hipabisales de la Unidad Bocatoma. Dentro de este contexto, la Formación Valle del Cura se sitúa en una posición de retroarco, acumulándose potentes secuencias volcánicas que se extienden hacia el norte hasta, por lo menos, la región de Macho Muerto en la cordillera de La Rioja (Mpodozis y Kay 2003), a una latitud aproximada de 28° 46' Sur.

Debe aclararse aquí que, de acuerdo con lo expuesto en Litvak y Poma (2005), sobre la base de Maksae *et al.* (1984); Ramos *et al.* (1989); Kay *et al.* (1991, 1999); Martín *et al.* (1997); Limarino *et al.* (1999), Bissig *et al.* (2001) y Litvak y Page (2002), en el valle del Cura, inmediatamente al sur del área de la Carta Minero-Metalogénica Pastillos, la columna estratigráfica del volcanismo terciario asigna al Eoceno las riolitas e ignimbritas riolíticas de la Formación Valle del Cura, al Oligoceno el Grupo (Unidad) Doña Ana (tobas, andesitas, basandesitas y brechas volcánicas) y al Mioceno inferior la Formación Cerro de Las Tórtolas (andesitas y dacitas).

En el mapa de la Hoja Geológica Pastillos (Fauqué, 2000), el volcanismo terciario está representado por la Formación Tobas Multicolores

Valle del Cura (Eoceno) y la Formación (Unidad) Doña Ana, esta última con siete Miembros (Oligoceno a Mioceno inferior).

Por su parte, Panteleyev y Cravero (2001) dividieron el volcanismo terciario - para el área de la Carta - en las siguientes unidades: Formación Peñas Negras (~ 36 Ma, Eoceno superior), Formación (Unidad) Doña Ana (26-20 Ma, Oligoceno superior-Mioceno inferior) y Formación Cerro de Las Tórtolas (17-10 Ma, Mioceno medio), y las consideraron una única unidad al mapear a escala 1: 500.000. La disparidad de criterios sobre la composición de la Formación (Unidad) Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas, además de la descripción de varias de ellas con intercalaciones de sedimentos líticos, hace difícil determinar las equivalencias en el área de la Carta con respecto a lo mapeado en las hojas sanjuaninas; con mayor número de dataciones radimétricas se logrará un cuadro cronológico más ajustado y compatible con los avances registrados en Valle del Cura.

La **Formación Peñas Negras (TEs m paδ)** fue propuesta para identificar una faja de pórfiros andesíticos y dacíticos, con sus tobas, brechas piroclásticas y coladas asociadas, que se extiende con rumbo N-S desde el paso de Peñas Negras hasta el cerro Chuscho (Marcos *et al.*, 1971).

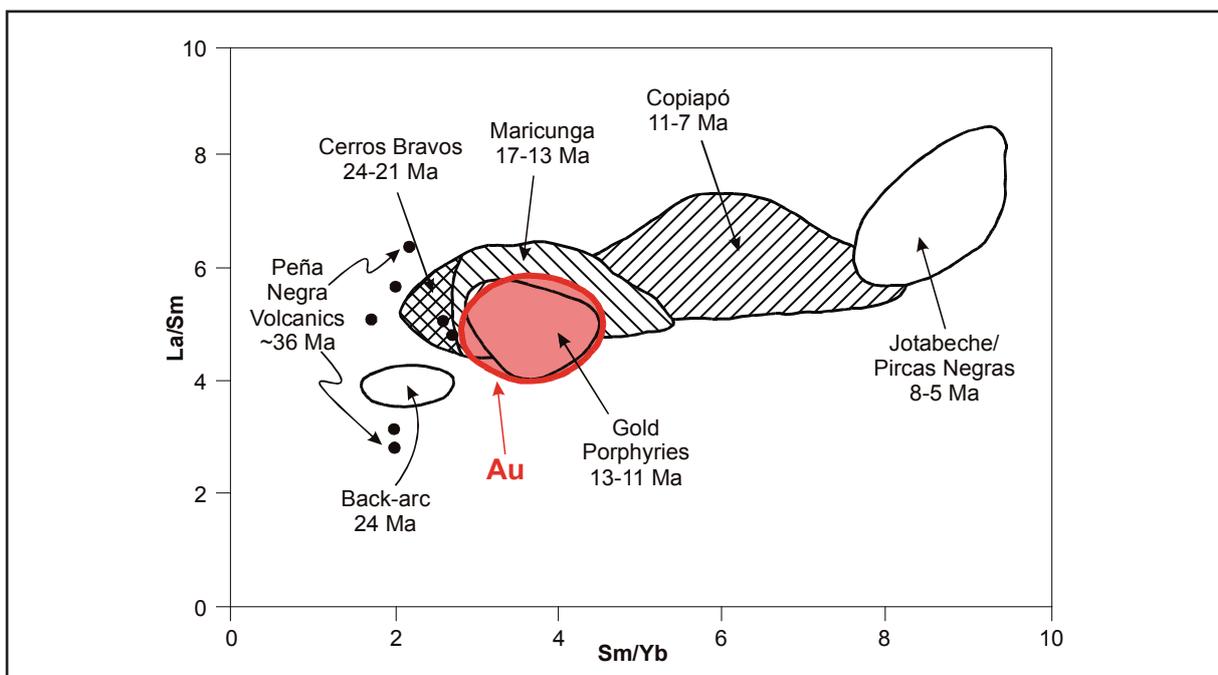


Figura 2. Relaciones La-Sm/Sm-Yb para varias unidades de rocas volcánicas en la Faja Maricunga (Panteleyev y Cravero, 2001). Para comparación se indicaron los valores de varias unidades volcánicas en la Faja Maricunga, según Kay *et al.* (1999)

Estudios posteriores permitieron incluir dentro de esta Formación pórfiros riolíticos y escasos horizontes de ignimbritas y tobas traquíticas. En las áreas de alteración La Ollita y La Vicuña, niveles de limolitas y conglomerados se intercalan en la parte superior de la secuencia volcánica. Rocas de la Formación Carnerito son cortadas por cuerpos hipabisales y cubiertas parcialmente por los componentes extrusivos de la Formación Peñas Negras; a su vez, ésta se encuentra cubierta en discordancia por volcanitas de la Formación Cerro de Las Tórtolas, que delimitan el borde oriental de la faja. El pórfiro andesítico que intruye a los sedimentos carboníferos en el área Los Sapitos (36 Ma) es considerado un cuerpo aislado perteneciente a la Formación Peñas Negras.

Según Panteleyev y Cravero (2001), las volcanitas de esta Formación contienen menos potasio que las más jóvenes de Doña Ana y Cerro de Las Tórtolas. Panteleyev y Cravero (2001) también compararon las volcanitas Peñas Negras, utilizando su contenido de La/Sm versus Sm/Yb, con los datos de las volcanitas de la Faja Maricunga (fig. 2). El contenido relativamente bajo de elementos de las rocas de Peñas Negras es consistente con el de otras volcanitas andinas más viejas que se formaron en ambientes de retroarco. Dado que las volcanitas Peñas Negras contienen abundante hornblenda, se interpreta que se derivan de profundidades crustales (presiones) moderadas, lo que significa condiciones de corteza relativamente delgada. Las volcanitas se depositaron antes de importantes episodios de mineralización de Au-Cu que comenzaron alrededor de los 20 Ma (Mpodozis *et al.*, 1995), coincidiendo con que la zona de subducción se hizo menos profunda y con la rápida construcción (espesamiento) de la corteza andina.

Por dataciones radiométricas, a esta unidad se le asigna una edad comprendida entre el Eoceno superior y el Oligoceno inferior.

Las sucesiones volcánicas terciarias en la región Peña Negra-Río Tamberías, referidas como Formación Peñas Negras por Marcos *et al.* (1971) y Complejo (Volcánico) Peña Negra por Ríos Gómez *et al.* (1997), consisten en una asociación basal eocena superior a oligocena. Las unidades suprayacentes equivalen a la Unidad Doña Ana y Formación Cerro de Las Tórtolas (Panteleyev, 1998). Las volcanitas Peñas Negras y el pequeño cuerpo de rocas similares en el área Los Sapitos se pueden correlacionar en edad, y son probablemente

equivalentes, a la Formación Tobas Valle del Cura de las cordilleras de La Brea y Zancarrón, ésta más al sur en la provincia de San Juan. Ellas fueron descritas por Limarino *et al.* (1999) en una región situada en 29° 19' LS y 69° 50' LO, al sur de esta Carta.

La Unidad **Doña Ana (TOiTMi av αβ)** tiene rango de Formación para Fauqué (2000), aunque numerosos autores (citados más arriba) le asignan a esta Unidad rango de Grupo. Fauqué (2000) separó la Formación Doña Ana en siete miembros (andesítico, ignimbritas basales, coladas riolíticas, ignimbritas superiores, limolitas y conglomerados, andesitas basálticas, y pórfiros dacíticos). Se divide en una subunidad inferior (Formación Tilito) y otra superior (Formación Escabroso). Considerada como Grupo, la Unidad Doña Ana se compone de las Formaciones Tilito y Escabroso. **La Formación Tilito** está integrada por andesitas, ignimbritas basales, coladas riolíticas e ignimbritas superiores. Aflora entre la quebrada de El Potro y el paso Rincón de la Flecha; muestra sus mejores exposiciones en ambos márgenes del río Los Mogotes, donde se dispone con rumbo general N-S e inclinación de 25-30° al naciente, y se apoya en discordancia sobre granitos y volcanitas triásicas. En el área Cerro Amarillo, un domo y diques riolíticos cortan la secuencia volcánica previamente depositada y producen la alteración arcillosa avanzada de este prospecto, datada en 23,1 millones de años. **La Formación Escabroso** está integrada por andesitas, andesitas basálticas y basaltos, y pórfiros dacíticos. El mayor afloramiento se ubica inmediatamente al sur del río del Inca, donde andesitas y basaltos se apoyan en pseudo-concordancia sobre la Formación Tilito. Pórfiros dacíticos y sus diques asociados cortan al conjunto y son el origen de la alteración arcillosa avanzada y la mineralización del área Río de la Flecha.

Durante el período de acumulación de las Formaciones Tilito (27-21 Ma) y Escabroso (21-17 Ma) se generaron numerosos *stocks* y *flow domes* que intruyeron a las rocas del Grupo (Unidad) Doña Ana. El cuerpo riolítico al que se asocia la alteración de Cerro Amarillo (23,1Ma) es equivalente de la Formación Tilito. Aunque con reservas, se consideran pertenecientes a la Formación Escabroso el pórfiro dacítico ubicado al oeste de Cerro Amarillo, los del sector río de la Flecha, el más antiguo del área Los Mogotes, y los situados inmediatamente al norte y sur de la quebrada El Potro.

Debido a la controversia existente con respecto al rango “formación” o “grupo” para las rocas de la Unidad Doña Ana, en esta Carta se referirá a ellas como “Unidad Doña Ana”.

La **Formación Cerro de Las Tórtolas** (Mioceno medio a superior) (**TMms av αδ**) está integrada mayoritariamente por coladas y brechas andesíticas, acompañadas por dacitas, ignimbritas y domos riódacítico-riolíticos. De acuerdo con Cravero (1995) su principal afloramiento limita por el naciente a la Formación Peñas Negras, a la que cubre en discordancia, e incluye a las áreas de alteración Río Blanco y Ritzuko. Afloramientos menores ocurren en el límite internacional y en el extremo norte del cordón de La Brea en el área de alteración Carnerito. Los domos riolítico-riódacíticos de Río Blanco y Ritzuko, así como el cuerpo dacítico de Los Mogotes (15,3 Ma), pertenecen a esta Formación. La alteración hidrotermal que afecta a las andesitas del área Carnerito estaría ligada a un cuerpo dacítico (J. Ríos Gómez, com. pers.) emplazado en los estadios finales del evento.

Como se mencionó, las volcánitas Peñas Negras contienen menos potasio que las de la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas (Panteleyev y Cravero, 2001); el mayor contenido de potasio en las volcánitas de la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas fue documentado por Godeas *et al.* (1993) y Otamendi *et al.* (1994). Cuando el contenido de potasio de estas volcánitas se expresa como ortosa normativa (Or), los valores promedio de las rocas de Peñas Negras es 9% Or comparados con el 16,4% de Or normativa de las rocas de la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas. Godeas *et al.* (1993) sugirieron que los contenidos de potasio en las volcánitas de la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas en Argentina es mayor que en las rocas equivalentes en Chile, debido a que el volcanismo en Argentina tuvo lugar a mayores distancias de la zona de subducción.

Los diferentes esquemas de clasificación (Panteleyev, 1998) muestran que las rocas terciarias son rocas de arco con una afinidad subalcalina y calcoalcalina de bajo potasio. Son de composición predominantemente andesítica, con escasos basaltos y algunas dacitas a riódacitas.

De acuerdo con la Normativa de realización de las Cartas Minero-Metalogenéticas del SEGEMAR, que clasifica las unidades con

criterios tectonoestratigráficos, en esta Carta las volcánitas terciarias fueron divididas en dos agrupaciones: a) representantes del volcanismo de retroarco del Eoceno y b) exponentes del arco magmático Oligoceno a Mioceno superior.

La **Formación La Ollita** (**TMim c RA**), del Mioceno inferior a medio y origen marino, está integrada por bancos de areniscas, yeso y anhidrita, en muchos casos afectados por fenómenos de deslizamiento, aflora -de acuerdo con Fauqué (2000)- en el sector sur de la Carta Pastillos, extendiéndose hacia el área de la Carta Malimán.

La **Formación Barrancas Viejas** (**TMTPe c RA**), tal como fue descrita por Marcos *et al.* (1971), está integrada por tobas, tufitas, areniscas, conglomerados y bancos de yeso. Fauqué (2000) incluyó los potentes bancos de tobas y tufitas que yacen en Pucha Pucha y Pastillos, originalmente considerados como un miembro volcano-sedimentario de la Formación Veladero. Aflora en las quebradas de los ríos principales y la mayoría de sus afluentes en todo el ámbito de la comarca, excepto en su cuadrante sudoeste. El perfil más completo puede observarse en la confluencia de las quebradas Los Baños y Barrancas Blancas, donde localmente ha sido fuertemente plegada, con desarrollo de pliegues volcados. Los bancos de yeso, de pocos centímetros de espesor, sólo aparecen a lo largo del río Salado, delimitando una cuenca que se extendía desde Pucha Pucha hasta las nacientes del río.

Las **Sedimentitas Terciarias indiferenciadas** (**TMmTP ci c**) son sedimentos mixtos que afloran en ambos flancos del río La Sal y borde occidental de la cordillera de Santa Rosa: Su edad corresponde al Mioceno medio-Plioceno inferior, aunque es posible que sean pliocenas como indicaron Marcos *et al.* (1971) para la Formación Barrancas Viejas.

La **Formación Veladero** (**TPcsQPI am αβ**) está compuesta por andesitas y basaltos y pórfiros dacítico-andesíticos que afloran al naciente de los ríos Salado y Blanco, desde los Llanos de Pastos Largos hasta el extremo septentrional de la comarca. Las primeras, de color rojo, gris y negro, se disponen en posición horizontal, apoyándose en discordancia sobre la Formación Barrancas Viejas y formando la estructura del cerro Veladero y demás estratovolcanes de la región. Los pórfiros se emplazaron rodeando al cerro Carnerito e intruyen a las andesitas y basaltos. Su edad se adjudica al Plioceno superior-Pleistoceno.

La **Formación Los Baños** (**TPcsQPI c RA**)

está conformada por conglomerados y areniscas poco consolidados que afloran al sur del cordón del Inca cubriendo rocas del basamento y formaciones terciarias. Aparecen en general como retazos mesetiformes de un antiguo nivel de agradación cortado por ríos y arroyos. Su edad pertenecería al Plioceno superior- Pleistoceno.

La **Formación Río Salado (QPI d)** fue descrita por Marcos *et al.* (1971) como bancos horizontales de areniscas y conglomerados, con marcada estratificación, que se apoyan en discordancia sobre la Formación Barrancas Viejas, en las barrancas del río Salado. Fauqué (2000) extendió el dominio de la misma a toda la cuenca del río Macho Muerto y parte del río Blanco, y adjudicó su edad al Pleistoceno.

Al Pleistoceno también pertenecen los **depósitos pedemontanos antiguos** integrados por gravas, arenas y bloques; los **depósitos morénicos y glaciafluviales** que corresponden a *drift* estratificado y no estratificado, y el nivel I de los depósitos de terrazas fluviales. Son de edad holocena los **depósitos pedemontanos modernos**, compuestos por gravas, arenas y bloques; los tres niveles superiores de los **depósitos de terrazas fluviales**, constituidos por gravas y arenas, al igual que los **depósitos aluviales**; y los **depósitos de barreales** integrados por limos y arcillas (**QPIH d**).

El estilo estructural de la región es el de una zona con fallamiento de bloques, con plegamiento menor, dominada por un fallamiento de orientación norte a nordeste paralela al arco. La arquitectura principal es el resultado de movimientos con eventos episódicos compresionales a extensionales durante un régimen transpresional, del Terciario temprano al Plioceno, relacionado con la subducción oblicua.

El fallamiento temprano dio como resultado grandes levantamientos en bloque con pequeño movimiento lateral aparente. El fallamiento tardío comúnmente muestra desplazamientos sinistres (Panteleyev, 1998).

Entre los principales lineamientos en el área de la Carta se destaca el de rumbo nornordeste, seguido por los cursos de los ríos Salado, Macho Muerto y de la Sal, estructura que posibilitó el ascenso del cordón de la Brea durante el Mesozoico y Cenozoico y la consiguiente formación de valles intermontanos. Fracturas paralelas bordean por el naciente al citado cordón, marcando el límite entre Precordillera y Cordillera Frontal.

La fracturación noroeste es la de mayor

importancia en la mineralización de la región, ya que controla el emplazamiento de la mayoría de los cuerpos hipabisales, vetas y fajas de alteración. Las principales estructuras de este sistema actuaron como cizallas de movimiento dextrógiro, lo que puede explicar el cierre hacia el norte del amplio valle del río Macho Muerto y el fuerte plegamiento de la Formación Barrancas Viejas. Una notable alineación norte-sur de los prospectos Cerro Caserones, La Ollita, Río Tamberías, Ritzuko y Río Blanco sugiere una asociación con una estructura de ese rumbo.

3. METALOGÉNESIS

El único distrito con antecedentes históricos de explotación minera de cierta magnitud es Las Carachas (Ag, Pb, Zn) y, en mucho menor medida, Mina Margarita (Cu). En el resto de la región, donde los trabajos pioneros de exploración y conocimiento minero fueron desarrollados por el Plan La Rioja a partir de 1966 (Marcos *et al.*, 1971), la exploración de empresas mineras privadas desarrollada a partir de la década de 1990, que continúa activamente en algunos sitios durante la presente década (proyectos Josemaría y Vicuña, entre otros), permitió ampliar el conocimiento en un gran número de áreas de alteración y -en algunos casos- reconocer mineralización metalífera.

En el área de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos es posible diferenciar las siguientes regiones, con características geológicas y metalogenéticas particulares: la Faja El Potro, la región al este de la Faja El Potro, el Cordón del Inca - las tres pertenecientes al cordón Limitrofe, lindantes con la frontera con Chile -, el Cordón de la Brea y, más al este, el área del Río Blanco.

Según Jones y Martínez (2007), la exploración realizada por las empresas Minera Eldorado SA, Tenke y RTZ, entre otras, permitieron extender la Faja Maricunga hacia parte del territorio argentino, en un cinturón de edad miocena media a superior que comprende además las sub Fajas El Indio, Valle del Cura y del Salado. Además, estos autores vincularon el potencial para contener nuevos depósitos tipo pórfiro a la migración del arco magmático mioceno inferior a medio que desde Chile ingresa a la Argentina a través de la Faja del Salado, al sur del valle del Cura en la Cordillera Frontal y la Puna.

FAJA EL POTRO

Esta denominación fue utilizada por Cravero (1995) para agrupar varias áreas de alteración-mineralización alineadas sobre una faja NNE-SSO y con características comunes. La misma se extiende desde el paso de Peñas Negras hasta el paso del Macho Muerto, con un ancho máximo de 15 km, e incluye las zonas de alteración denominadas Cerro Caserones, La Vicuña, La Ollita, Río Tamberías, Río Bermejo, El Potro, Vicuña y Cerro Los Mogotes. Al sur, la faja ingresa en territorio chileno. En un sector adyacente al este de la Faja El Potro se hallan los prospectos Ritzuko, Río Blanco y Arroyo Batedero, caracterizados por una cobertura de volcanitas asignadas a la Formación Cerro de Las Tórtolas e intruidos por cuerpos de composición dacítico-riodacítica.

En los prospectos de esta faja pequeños *stocks* dacíticos, andesíticos o monzodioríticos intruyen a los granitos basales y a las volcanitas permeables que los sobreyacen, desarrollando conspicuas zonas de alteración y sistemas porfíricos de Cu y Cu-Mo. Otra característica común es la posterior superposición de sistemas epitermales a los que se relaciona mineralización aurífera.

Colectivamente, esta zona referida como Faja El Potro puede ser considerada como una extensión de la Faja Maricunga.

De acuerdo con Panteleyev y Cravero (2001), la "Faja El Potro" es una zona de actividad hidrotermal terciaria relacionada con intrusiones graníticas emplazadas a un nivel elevado, las que produjeron zonas de alteración controladas por estructuras (fallas) y estratos volcánicos permeables periféricos a las intrusiones. Algunas de estas zonas están relacionadas con sistemas hidrotermales subvolcánicos asociados con domos de flujo. En Peña Negra hay un número de pequeñas intrusiones compuestas por andesitas basálticas ricas en hornblenda y andesitas porfíricas con feldespato y hornblenda. Los domos no parecen estar alterados, pero sí por lo general lo están las rocas vecinas y las fracturas que los cortan. En todas las áreas mapeables de la Unidad Doña Ana las intrusiones riodacíticas (pórfiro cuarzo-feldespático) pueden formar complejos de domos de flujo. Uno de ellos, muy visible y de aspecto blanqueado, se observa en Filo Amarillo donde hay alteración arcillosa

avanzada con bordes de cuarzo-alunita y zonas que contienen pirofilita y dickita. Esta alteración arcillosa avanzada de alta temperatura está rodeada por zonas con arcillas (principalmente illita) que gradan hacia afuera a zonas con interestratificados illita/esmectita, esmectita y finalmente asociación propilítica rica en epidoto. Otras rocas intensamente alteradas a arcillas se observan en los depósitos de relleno de calderas en Ritzuko. En muchas de estas zonas alteradas, la silicificación es débil o está ausente en el afloramiento; la mayor parte de la alteración es arcilla (caolinítica) y menor cantidad de alunita-arcilla, que parecen formarse a partir de aguas subterráneas de nivel alto (geotermal) calentadas con vapor y composición sulfato-ácida y procesos supergénicos. Donde hay erosión más profunda y exposición de intrusiones se presentan *stockworks* de cuarzo y en casos raramente portan molibdenita, como en Los Mogotes y el sector nordeste de La Vicuña (Ríos Gómez, 1998, com. pers.) o raramente enargita. Se han intersectado *stockworks* portadores de cobre en La Ollita en lo que parece ser un ambiente de depósito de pórfiro cuprífero.

CORDÓN DEL INCA

Es una faja E-O de 8-10 km de ancho y 25 km de longitud, limitada en sus extremos por dos grandes fracturas inversas de alto ángulo de rumbo NNE. Incluye los prospectos de alta sulfuración Río de la Flecha (o Termas del Inca), Cerro Amarillo y Cordón del Inca, y el área de alteración Bordo Atravesado.

La escarpa del cordón del Inca sigue la traza sinuosa de una falla gravitacional de rumbo general E-O y posible hundimiento hacia el norte. En inmediaciones de esta estructura, en ambos costados, se ubican los prospectos mencionados. Numerosas fracturas menores de dirección NNE a NNO intersectan la faja a lo largo de toda su extensión.

CORDÓN DE LA BREA

El área **Cordón de La Brea** incluye las zonas de alteración denominadas Pastos Largos, Laguna de Los Huaycos, Quebrada de Ranchillos, Cajón de la Brea y Mina Margarita, Carnerito y Barreales de Ranchillos, además del conocido distrito Las Carachas. Dentro del Cordón, el

sector Ranchillos es una faja NNE-SSO limitada por fallas inversas de alto ángulo que permitieron el ascenso del bloque centro-oriental del cordón. Incluye los prospectos Pastos Largos, Ranchillos, Mina Margarita y Cajón de la Brea, todos ellos caracterizados por alteración-mineralización en encajante sedimentario metamorfozado y/o en las cúpulas de los granitoides permo-triásicos que intruyen a la Formación Ranchillos.

Se entiende actualmente que las rocas volcánicas félsicas paleozoicas, originalmente consideradas como parte del Grupo Choiyoi, son componentes volcánicos de la Formación Carnerito de composición principalmente granítica (Panteleyev, 1998). Estas rocas están intruidas por *stocks* triásicos de granito porfirico, de los que JICA-MMAJ (1999 a y b) ha informado edades K/Ar de 243 a 217 millones de años. Localmente hay diques de pórfiro con cuarzo y feldespato alcalino, portadores de fenocristales bipiramidales de cuarzo ahumado. Los diques contienen escasas fracturas portadoras de cuarzo y muestran elevados valores de oro en el prospecto Cordón de la Brea cerca de Mina Margarita, y probablemente también en Quebrada de Ranchillos en un ambiente geológico similar. Las zonas alteradas hidrotermalmente en contactos intrusivos de algunos *stocks* son atractivas para la exploración.

En Ranchillos, las rocas de caja a lo largo de un contacto intrusivo de leve inclinación tienen una gran zona con alteración sericítica diseminada. En muchos sitios del distrito Cordón de la Brea la sericita es un producto común de alteración; deriva de micas contenidas en cuarcitas ricas en mica, que constituyen el tipo de roca predominante en la región. En casos raros, las rocas en contacto con el granito muestran leve silicificación, con valores elevados de oro en zonas brechadas, por ejemplo en Pastos Largos. Dentro de cuerpos intrusivos, aparecen venas pequeñas de cuarzo, con o sin turmalina; más comúnmente hay lentes y zonas pegmatíticas de feldespato-moscovita-turmalina. En casos, tal como en la mina Margarita, los reemplazos de turmalina en rocas sedimentarias de estratificación fina y las zonas de reemplazo masivo de turmalina con brechas son portadoras de escasa cantidad de calcopirita, calcosina, pirita y pirrotina, pero esta mineralización revela escaso potencial evidente de oro. Las zonas cupríferas cercanas a la superficie están oxidadas

y se ha realizado una prueba de lixiviación de los minerales secundarios de cobre.

3.1. DESCRIPCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES Y DE ÁREAS DE ALTERACIÓN

3.1.1. DEPÓSITOS MINERALES

COBRE-ORO-MOLIBDENO, ORO-PLATA

Proyectos VICUÑA y JOSEMARÍA

Proyecto Vicuña

Generalidades

Ubicada en el límite con Chile, entre 4.800 y 5.500 m de altura sobre el nivel del mar, el área mineralizada de Vicuña ocupa territorio de ambas naciones, a 28° 30' de latitud sur. Tiene acceso desde ambos países. El campamento, ubicado en territorio chileno, dista 180 km de Copiapó; para llegar a la zona desde territorio argentino son necesarias seis horas de marcha en vehículo desde la localidad de Jagüé.

El proyecto binacional Vicuña fue objeto de exploración minera desde 1996. Cyprus perforó en el sector chileno varios pozos en un sector con características de mineralización tipo pórfiro que dio valores marginales en Cu. Hacia 1996, el Grupo Lundin a través de Deprominsa, adquirió los derechos del mismo. Tras resultados iniciales muy promisorios en el sector argentino, Río Tinto, en el año 2000, tomó una opción sobre el área y realizó varias perforaciones con resultados muy alentadores por los tenores de Cu y Au. Durante 2002 el proyecto se detuvo; hacia 2003/2004, Deprominsa retomó las actividades de perforación y acrecentó la superficie bajo su control en la zona, inclusive en el sector chileno. En 2004 se firma un acuerdo entre la empresa Tenke Mining Corp. -operadora del proyecto- y la empresa JOGMEC que prevén inversiones por cuatro años, a realizar sobre un área extensa.

El área en exploración es una faja angosta y sinuosa, de 12 km de longitud y 1 a 2,5 km de ancho (26.000 ha), en la que han sido diferenciadas cinco áreas de alteración, denominadas: Gemelos, Maranceles, Filo del Sol, Cerro Vicuña y Flamenco. En la figura 3 se presenta la distribución de las áreas exploradas por la empresa Tenke Mining.

Prácticamente adyacente a Vicuña, Tenke Mining explora el área Josemaría.

Marco geológico

El basamento pre-holoceno está integrado por granitoides de la Formación Carnerito, volcanitas ácidas del Grupo Choiyoi y rocas de la Formación Los Cuartitos (aglomerados, conglomerados, areniscas y andesitas) interdigitadas con las sedimentitas de la Formación Las Chapitas. Rocas de la Unidad Doña Ana cubren en discordancia al basamento y es a su vez cubierto por andesitas y dacitas de la Formación Cerro de Las Tórtolas. Con posterioridad al Miembro (o Formación) Tilito y antes del Miembro (o Formación) Escabroso, dentro de las rocas de esta Unidad se emplazaron cuerpos riódacíticos y cuarzo-dioríticos, sincrónicamente con un complejo de volcanitas y brechas denominado Complejo Volcánico Brechoso Vicuña.

Geología del depósito

Las litologías diferenciadas en el Complejo Volcánico Brechoso Vicuña son: brechas

magmáticas, brechas freatomagmáticas (brechas de diatrema), tufitas, brechas de colapso (borde), tobas finas, tobas de lapilli, tobas riolíticas cristalinas, brechas freáticas y brechas hidrotermales.

Hay dos sistemas de alteración principales: uno, epitermal / pórfiro de Cu-Au (Cerro Vicuña), y otro, epitermal de alta sulfuración bien desarrollado.

Las alteraciones reconocidas y sus características son las siguientes:

Sílice de lixiviación ácida: capas alteradas por la fase vapor.

Alunita-azufre: encizallas dilatacionales NNE.

Sílice opalina: reemplazo de la roca por ópalo fino y arcillas.

Vuggy silica: gris translúcida, preserva la textura original de la roca.

Sílice de reemplazo: reemplaza a *vuggy* y destruye la textura original.

Oxidación: hematita + goethita diseminadas y en venillas.

Cuarzo - alunita: intercrecimientos de varias fases de 30% a 50% de alunita con 20% a 50% de cuarzo.

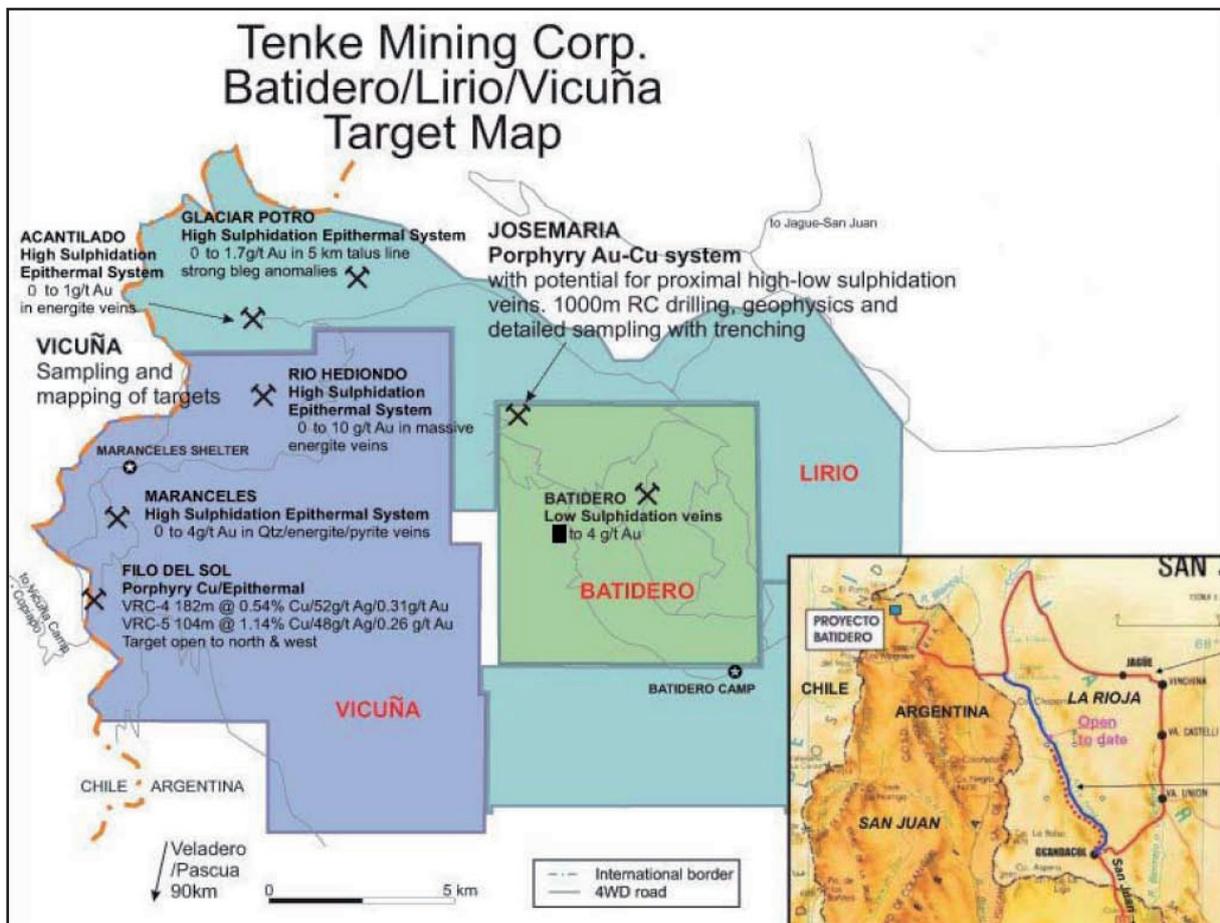


Figura 3. Áreas exploradas por Tenke Mining Corp.

Arcillosa: illita – montmorillonita con microvenillas de cuarzo.

Pirítica – arcillosa: fuerte disseminación y *stockworks* de pirita.

Sílice piritosa: silicificación superpuesta a la alteración arcillosa.

Fílica: escasamente desarrollada.

Potásica: leve disseminación de feldespatos potásico.

Sulfatación: reemplazo total por yeso y sulfatos de Fe; en general con algo de pirita disseminada y jarosita.

Propilítica: clorita, magnetita y epidoto con escasa sílice.

El proyecto de exploración consideró los siguientes objetivos:

Sector Flamenco: combinación de estructuras laminares silicificadas asociadas con brechas freáticas silicificadas. Anomalía en suelo de 1 km² y muestras de roca con hasta 1,4 ppm Au.

Sector Cerro Vicuña: *silica cap* dentro del pórfiro, en su borde oriental. Zona con anomalías en suelo mayores a 0,25 ppm Au, bajo magnetismo y alta resistividad.

Sector Filo del Sol: brecha de diatrema compleja, extensiva silicificación, anomalías combinadas de Au-Hg en suelos, cuerpos de alta resistividad y una zona de cizalla de más de 500 m que controla el borde oriental de la diatrema.

Sector Marancelles: gran zona de alteración cuarzo-alunita asociada con una brecha compleja local. Pequeñas anomalías de Au en suelos y un significativo cuerpo de alta resistividad

Sector Gemelos: gran zona de lixiviación ácida asociada con una unidad local de tobas eruptivas. Anomalías de Ag-Cu-Pb-Zn-Hg asociadas con Au en pequeños cuerpos de cuarzo-alunita-enargita. Anomalías de Ag-Pb-Hg en los cuadrantes NE y NO.

En el sector denominado Filo del Sol se completó un programa de perforación de 1.170 m en el año 2004, cuyos resultados indicaron una significativa extensión lateral de la mineralización hacia el norte de Filo del Sol. Una de las perforaciones dio un valor de 0,66% Cu en 224 metros. Estas intersecciones, junto con nuevos resultados de geoquímica y mapeo regional en el flanco este del sistema de Vicuña, continúan dando evidencias, según Nilsson y Rossi (2006), de un potencial sistema pórfiro en profundidad, asociado con evidencias de sistema epitermal en los sectores superficiales.

Las mejores leyes y continuidad de mineralización coinciden con los flancos del sistema de diatrema de Filo del Sol, donde aún existen sectores sin explorar.

La exploración (mapeo geológico, geoquímica, geofísica) identificó *clusters* de posible estilo epitermal que incluyen brechas explosivas (posibles diatremas según Nilsson y Rossi, 2006) con fuertes anomalías de Au y Ag en superficie. Asociados con esta litología, mediante estudios de geofísica se identificaron estructuras intensamente silicificadas resultado de múltiples eventos de fracturación e introducción de sílice en niveles superficiales del posible sistema epitermal. Las perforaciones de estos sectores indicaron variaciones verticales en el sistema mineralizado; uno de los pozos reportó 182 m con 0,54% Cu y 0,31 g/t Au.

De acuerdo con Nilsson y Rossi (2006), Vicuña sería parte de un gran sistema regional de múltiples pórfiros con una sección vertical de más de 1.000 m con evidencias de mineralización de varias edades.

Según Jones y Martínez (2007), el prospecto Vicuña se ubica en el límite entre Argentina y Chile, en la Faja del Salado, la que se caracteriza por la presencia de pórfiros con mineralización de Cu y Cu-Au. El prospecto tiene brechas de diatrema con mineralización de Cu, Au y Ag en sus proximidades; a lo largo de fallas de rumbo paralelo al eje del orógeno, existe una transición a un sistema epitermal de alta sulfuración que se sitúa en las inmediaciones del prospecto Cerro El Potro. A través de Tenke Mining Corp., Deprominsa dio a conocer valores de 0,7% Cu en Vicuña, donde los minerales oxidados de cobre (brochantita, calcantita) sobreyacen la mineralización aurífera en brechas de diatrema con valores de 0,3-0,4 g/t Au. Los prospectos La Fortuna y El Morro (465 Mt de reservas inferidas, con 0,6% Cu y 0,5% Au), ambos en Chile, y Macho Muerto (Argentina) constituyen un distrito que, unido a la presencia de pórfiros en la región de la cordillera de la Ortiga, sugiere según Steven *et al.* (1998) la continuidad de las Fajas Maricunga, El Indio y del Salado. Con anterioridad, Jones *et al.* (1996) propusieron la continuidad entre las Fajas Maricunga y El Indio con la de Valle del Cura, y posteriormente Mpodozis y Kay (2003) confirmaron la integración entre las Fajas El Indio y Maricunga en una sola faja que ingresa en la Argentina.

Proyecto Josemaría

El proyecto Josemaría se encuentra a 5 km de Vicuña.

Josemaría está situado en el flanco oriental de la cordillera de los Andes en la unidad morfoestructural Cordillera Frontal y en la porción austral de la Zona Volcánica Central. De esta manera, Josemaría se ubica en el segmento de subducción del *flat-slab* Pampeano (Ramos *et al.*, 2002) que se halla entre los 27° 00' y 33° 30' de latitud sur. La subducción de la Placa de Nazca por debajo de Sudamérica comenzó a achatarse hace aproximadamente 20 Ma, creando un tipo distintivo de ambiente magmático que ha resultado en tres fajas mineralizadas significativas: el distrito El Teniente, por arriba de la transición oriental, el distrito El Indio, centralmente arriba de la parte más ancha del *flat-slab* y los distritos Maricunga-Farallon Negro por arriba de la transición septentrional (Vila and Sillitoe, 1991; Kay and Mpodozis, 2001; Nilsson y Rossi, 2007).

La figura 4 ilustra la vista del proyecto Josemaría desde el norte a través del valle del río Blanco.

La empresa titular del proyecto realizó muestreo de superficie y prospección geoquímica y geofísica (estudios de magnetometría y de resistividad) durante las campañas de 2002-2003, definiendo *targets* de perforación y modelo geológico. La primer fase de perforación se

completó durante la campaña de 2003-2004 con 3.475 m perforados en diez pozos (aire reverso). Una segunda fase de perforación incluyó quince pozos con aire reverso (7.822 m) y cinco pozos a diamantina (2.406 m), y se desarrolló en las campañas 2004-2005 para establecer profundidad y tamaño del prospecto y proveer suficientes datos para una estimación preliminar del recursos.

Tenke Mining Corp. tiene una opción para adquirir la totalidad de Josemaría, hasta el año 2009.

Marco geológico

Las rocas más antiguas conocidas en Josemaría afloran en el norte y oeste, y son granitos y granodioritas de grano medio asignadas a la Formación Carnerito de edad permo-triásica del Grupo Choiyoi. En la zona central hay coladas de andesitas-dacitas posiblemente equivalentes a la Formación Tillito de la Unidad Doña Ana. Estas rocas están intruidas por granodioritas porfíricas de grano grueso, que contienen megacristales de plagioclasa, cuarzo y minerales máficos reemplazados por biotita secundaria; en sectores se advierten tablillas de feldespato potásico (Nilsson y Rossi, 2007). También en el área central, hay una secuencia de piroclastitas de composición dacítica a andesítica ubicadas subhorizontalmente sobre las coladas andesítica mencionadas con anterioridad. Coronando las



Figura 4. Josemaría, vista desde el norte a través del valle del río Blanco (tomado de Nilsson y Rossi, 2007)

secuencias previas se encuentran secuencias volcánicas de composición basáltica a andesítica.

En varias partes de la propiedad, afloran brechas hidrotermales intensamente silicificadas. Algunos de estos afloramientos son elongados en sentido NNE. Contienen clastos y matriz intensamente silicificados, cavidades con óxidos de hierro y azufre nativo. Cerca de la zona central, se ha mapeado una serie de tres brechas hidrotermales formando una línea orientada aproximadamente ESE. Dos de los afloramientos son elongados en dirección NNE, y no existe ningún control estructural mapeado que conecte las brechas. Consecuentemente, la relación lineal de los tres afloramientos es una coincidencia, o bien el resultado de una fuente profunda sin expresión superficial. Los dos afloramientos de brecha son adyacentes a altos magnéticos (Nilsson y Rossi, 2007). Existen brechas tectónicas, algunas de las cuales parecen estar asociadas con las fallas de bajo ángulo. Hacia el sur hay una secuencia de andesitas piroclásticas, frescas a levemente propilitizadas, en contacto con una brecha volcánica que tiene matriz andesítica y clastos sieníticos. En la figura 5 se presenta

el mapa geológico realizado por la empresa Tenke Mining Corp. (Nilsson, 2006, en Nilsson y Rossi, 2006).

Petrografía

En el informe de Nilsson y Rossi (2007) se describen las características petrográficas de los distintos tipos litológicos.

Basalto y basalto andesítico

Los principales afloramientos en el área se encuentran en las elevaciones mayores en Josemaría y en el flanco austral. Las rocas aflorantes son de color verde oscuro a negro, magnéticas, con textura afanítica y sin venas de cuarzo observables. Esta unidad no se intersectó en ninguna perforación.

Brechas hidrotermales

Son variables en forma y tamaño, y se caracterizan por un alto contenido de sílice en forma de cemento síliceo, y diversos tipos de limonitas. Los clastos de brecha son de composición, tamaño y alteración variables; algunos de ellos se caracterizan por alteración arcillosa avanzada, silicificación masiva y sílice *vuggy*. En estas brechas se detectaron anomalías de oro.

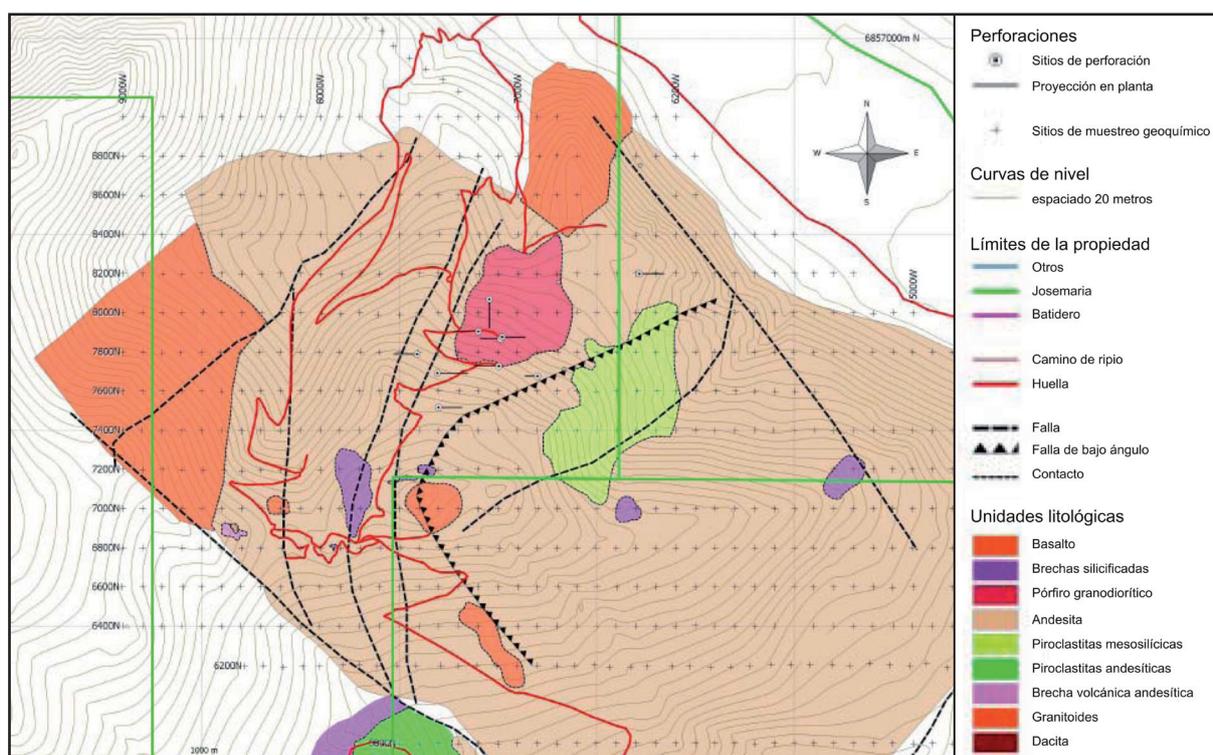


Figura 5. Geología del área Josemaría según Tenke Mining Corp. (Nilsson, 2006, en Nilsson y Rossi, 2006)

Volcanitas andesíticas

Esta unidad incluye volcanitas de composición variable (brechas volcánicas dacíticas/andesíticas/basálticas) que predominan en el área del proyecto y están tectónicamente superpuestas sobre rocas intrusivas y otros pórfiros por una falla de bajo ángulo de rumbo SO-NE e inclinación de 25° al SE. La unidad carece de mineralización incluyendo sulfuros, óxidos de cobre y oro. La unidad es magnética, tiene una textura muy fina, poca o nula alteración y muestra muy escasa venulación de cuarzo.

Por sectores se caracteriza por una intensa alteración arcillosa avanzada que destruyó la textura, silicificación, sericitización y un intenso *stockwork* de cuarzo y venillas de pirita. Estas rocas forman una expresión topográfica positiva en el sector occidental del área del proyecto (denominada “El Dedo”) y se extiende en dirección norte-sur al río Blanco.

Estas rocas se distinguen por la ausencia de magnetita, una textura obliterada totalmente, el color gris claro, alto porcentaje relativo de sulfuros, y mineralización de sulfuros primarios y secundarios de cobre. Están afectadas alteración arcillosa avanzada a profundidades que varían entre 50 y 80 m, gradando a alteración filica fuerte caracterizada por sílice penetrativa, sericita e illita, como se ilustra en las figuras que siguen. La figura 6 muestra volcanitas afectadas por alteración arcillosa avanzada, con abundante silicificación penetrativa con óxidos y arcillas en fracturas. La figura 7 muestra la misma unidad volcánica caracterizada por alteración filica fuerte.

En general, los valores de cobre y oro son bajos en la zona de alteración arcillosa, mientras que en la zona de alteración filica son elevados en oro y cobre, estando caracterizadas por enriquecimiento en sulfuros de cobre secundarios y mineralización primaria aislada.

Intrusivos de pórfiros dacítico-andesíticos

Estos pórfiros raramente afloran, limitándose a exposiciones en superficie en el área de las perforaciones JMRC-04, JMRC-08 y JMRC-19. Tienen composición principalmente andesítica cuarzosa a dacítica; están cortados por cuerpos intrusivos afaníticos angostos de color oscuro y por brechas hidrotermales. Estas rocas varían en textura de acuerdo al grado de alteración; sin embargo, parecen ser más porfiricas hacia el oeste y en el centro del cuerpo intrusivo. Están compuestas principalmente por fenocristales de cuarzo,

plagioclasa y minerales máficos, y cortadas por un *stockwork* de cuarzo y venillas de pirita y calcopirita. Los sulfuros secundarios, calcosina y covellina, son más abundantes hacia el oeste, mientras que hay un incremento significativo en molibdenita y magnetita hacia el este. Esta unidad intruye a volcanitas andesíticas de grano fino (afaníticas) con contactos irregulares.

Estas rocas están afectadas por diferentes estilos de alteración.

Las figuras muestran las características descritas. La figura 8 es un pórfiro dacítico con alteración a sericita-clorita-arcillas. La figura 9 es un pórfiro dacítico con alteración a sericita-clorita-arcillas y propilítica con un incremento de clorita y arcillas amarillas. La figura 10 ilustra el pórfiro dacítico afectado por alteración potásica con feldespato potásico y biotita secundarios diseminados.

Pórfiros andesíticos volcánicos

Estas rocas son de composición andesítica, tienen textura afanítica y color gris a verdoso, están afectadas por alteración filica y se alteran a la asociación propilítica hacia el este. Se



Figura 6. Volcanitas con alteración arcillosa avanzada, con abundante silicificación penetrativa con óxidos y arcillas en fracturas

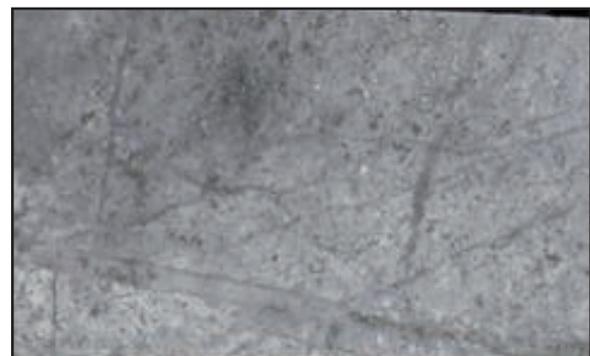


Figura 7. La misma unidad volcánica con alteración filica fuerte

caracterizan por un *stockwork* y venulación de cuarzo \pm pirita, magnetita y hematita y muestran un contacto irregular a transicional con intrusivos porfíricos más jóvenes que por momentos son difíciles de definir. Fueron identificadas en todos los sondeos. Se observa una mayor abundancia de mineralización de sulfuros de cobre hacia el sector occidental. Como en los pórfiros intrusivos, la susceptibilidad magnética y la carencia de venillas de cuarzo son más pronunciadas hacia el este.

La figura 11 muestra las andesitas volcánicas con alteración fílica débil superpuesta a alteración propilítica.

Volcanitas permo-triásicas

Las volcanitas afloran al oeste de Josemaría y se correlacionan con el Grupo Choiyoi.

Intrusivos graníticos de la Formación Carnerito

Esta unidad aflora al nor-nordeste y oeste de Josemaría. Es de composición granítica textura de grano grueso, y se correlaciona con varias altas anomalías magnéticas. Posiblemente sea de edad permo-triásica.

Estructura

Fuertes lineamientos agrupados en rumbos ONO-ESE y NE-SO cruzan el área produciendo fracturas mayores visibles. Los estudios conducidos por Tenke Mining Corp. en el vecino proyecto Vicuña usando datos LANDSAT identificaron cinco estructuras principales de fallamiento regional. Dentro de los informes de Tenke Mining Corp., se denominan de norte a sur: Enjambre de Fallas Mogotes, Enjambre de Fallas Maranceles y Enjambre de Fallas Río Potro, todos con orientación ONO-ESE. Las estructuras remanentes, orientadas NE-SO, se denominan Enjambre de Fallas Cerro Amarillo y Enjambre de fallas Macho Muerto. Estas estructuras conectan la mayoría de las anomalías de color y manifestaciones minerales en el área.

Alteración hidrotermal

Nilsson y Rossi (2007) dieron a conocer un detallado estudio de los distintos tipos de alteración hidrotermal que afectan a las diferentes litologías, el que se presenta a continuación.

Alteración potásica

Esta alteración se caracteriza por la asociación

feldespato potásico - biotita - magnetita - anhidrita, con clorita y epidoto remanentes. Los sulfuros predominantes son pirita, calcopirita y bornita, aunque con bajos valores relativos de cobre. En



Figura 8. Pórfiro dacítico con alteración a sericita-clorita-arcillas



Figura 9. Pórfiro dacítico con alteración a sericita-clorita-arcillas y propilítica con un incremento de clorita y arcillas amarillas



Figura 10. Pórfiro dacítico con alteración potásica con feldespato potásico y biotita secundarios diseminados



Figura 11. Andesitas volcánicas con alteración fílica débil superpuesta a alteración propilítica

la figura 12, se advierte la transición entre venillas de feldespato potásico y agregados de biotita secundaria y magnetita. La figura 13 muestra biotita secundaria y feldespato potásico diseminados. La figura 14 ilustra biotita predominante, magnetita, clorita y feldespato potásico.

La alteración potásica asociada predominantemente con el intrusivo de diorita cuarzosa en el núcleo de la zona central de Josemaría se puede ver en afloramientos, trincheras y testigos. Esta alteración es característica del centro de los sistemas porfíricos intrusivos. Puede suceder que la alteración filica tardía se superponga a medida que el sistema hidrotermal se vaya enfriando.

Alteración filica

Se caracteriza por cuarzo, sericita y/o sericita-illita, y pirita, y es comúnmente destructiva de texturas. Afecta principalmente tobas, volcanitas y pórfiros intrusivos, en especial hacia el sur, donde tanto la sílice penetrativa como la destrucción de feldespatos por illita y sericita son claramente más fuertes que hacia el norte. En las rocas que han sufrido alteración filica es imposible observar clorita o magnetita. La principal asociación mineralógica de cuarzo, sericita y pirita comúnmente muestra una transición a cuarzo, illita, illita-esmectita y pirita a medida que se incrementa la profundidad. Los sulfuros que se asocian incluyen calcopirita, covellina y menor cantidad de bornita y calcosina. Las rocas que tienen alteración filica se caracterizan por una intensa venulación y *stockwork* de cuarzo \pm pirita y un porcentaje de sulfuros que alcanza hasta aproximadamente 10 %.

La figura 15 muestra alteración filica en pórfiros intrusivos.

Alteración filica débil superpuesta a alteración propilítica

En ciertos casos, se observan áreas irregulares de alteración, en las que los efectos de la alteración filica son más débiles y donde la textura original de la roca todavía se puede reconocer. Estas áreas de alteración están caracterizadas por cantidades menores de sericita y una mayor presencia de clorita y magnetita. Su asociación mineralógica es cuarzo, illita, illita - esmectita, clorita,

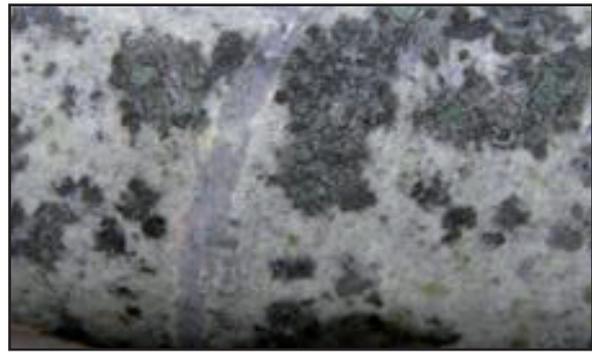


Figura 12. Transición entre venillas de feldespato potásico y agregados de biotita secundaria y magnetita



Figura 13. Biotita secundaria y feldespato potásico diseminados

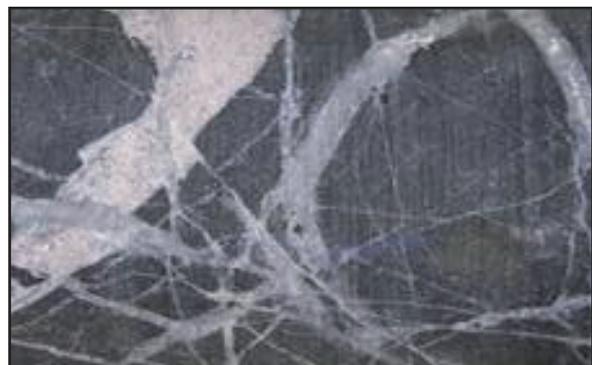


Figura 14. Biotita predominante, magnetita, clorita y feldespato potásico



Figura 15. Alteración filica en pórfiros intrusivos

sericita, piritita y magnetita. Afecta a andesitas afaníticas y rocas intrusivas porfíricas. Tiende a asociarse con *stockworks* de cuarzo \pm piritita, a menudo con calcopiritita, calcosina y covellina, especialmente hacia el oeste. En profundidad es transicional hacia la alteración propilítica o sericita-clorita-arcilla.

Las figuras siguientes ilustran ejemplos de esta alteración. La figura 16 muestra andesitas afaníticas con alteración filica débil superpuesta a la propilítica. La figura 17 muestra un pórfiro dacítico con *stockwork* de cuarzo con alteración filica débil superpuesta a la propilítica. La figura 18 muestra el mismo pórfiro con un incremento de clorita procedente de alteración propilítica.

Alteración arcillosa

Cinco asociaciones minerales (identificadas por medio de espectrometría de reflectancia SWIR) son consistentes con una asociación de alteración arcillosa: esmectita - caolinita - illita (Sm-Kao-III), esmectita-halloysita (Sm-Ha), esmectita - illita - sílice (Sm-III-Si), esmectita - illita (Sm-III) y esmectita - halloysita - illita (Sm-Ha-III). Se interpretan como más probablemente asociadas con sistemas epitermales de alta sulfuración en Batidero y posiblemente como superposición de etapa tardía asociada con pórfiros en Josemaría. La alteración arcillosa está asociada predominantemente con coladas andesíticas que hospedan vetas de cuarzo, y en brechas hidrotermales hospedadas por el pórfiro andesítico.

Alteración arcillosa avanzada

Se identificaron tres asociaciones minerales que son consistentes con la alteración arcillosa avanzada: caolinita - diásporo (Kao-Dia), alunita/alunite - cuarzo (Al/Al-Qz) y alunita - caolinita (Al-Kao). Este tipo de alteración está bien desarrollado al oeste de la zona central y también afecta a las andesitas y brechas hidrotermales al sur de la zona central.

Trabajos recientes han mostrado que la alteración arcillosa avanzada forma una capa de espesor irregular, y parece ser más extensa dentro de pórfiros de grano muy fino y tobas volcánicas donde se observan espesores de hasta 80 metros. Este tipo de alteración se

caracteriza por sílice penetrativa, jarosita y alunite, que pasa en transición a sílice, caolinita, jarosita e illita con abundantes óxidos de hierro con el incremento de la profundidad. En planta, la alteración arcillosa avanzada forma una faja de rumbo norte - sur hacia el río Blanco, y corresponde a la zona lixiviada.

Esta zona es raramente anómala en Au y mucho menos en Cu.



Figura 16. Andesitas afaníticas con alteración filica débil superpuesta a la propilítica

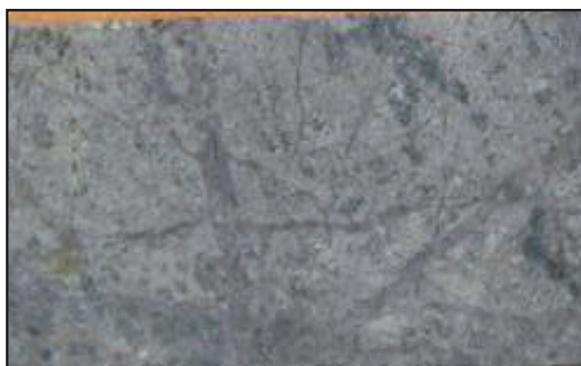


Figura 17. Pórfiro dacítico con stockwork de cuarzo con alteración filica débil superpuesta a la propilítica



Figura 18. El mismo pórfiro, pero con un incremento de clorita procedente de alteración propilítica

Se muestran ejemplos de alteración arcillosa avanzada. La figura 19 muestra alunita, sílice y *stockwork* de cuarzo con jarosita. La figura 20 ilustra la presencia de sílice, caolinita, hematita y jarosita. La figura 21 muestra sílice, alunita, caolinita e illita.

Alteración silíceea

Se han observado silicificación y cuarzo opalino en brechas hidrotermales en o cerca de Josemaría y propiedades adyacentes. La silicificación comúnmente se presenta como reemplazo penetrativo por cuarzo opalino en las dacitas-riodacitas.



Figura 19. Alunita, sílice y stockwork de cuarzo con jarosita

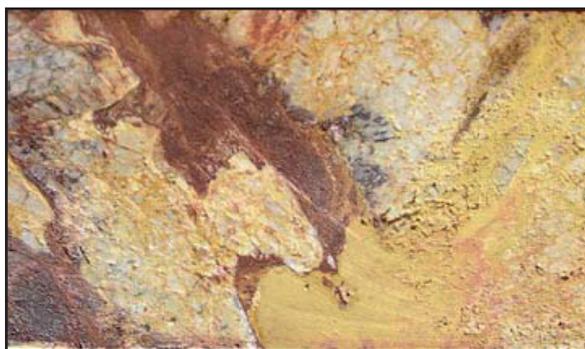


Figura 20. Sílice, caolinita, hematita y jarosita



Figura 21. Sílice, alunita, caolinita e illita

Alteración propilítica

La alteración propilítica se encuentra regionalmente dentro de esta parte de la Cordillera Frontal. Está asociada localmente con una asociación esmectita - clorita - illita \pm pirita - carbonato (Sm-Chl-Ill). En Josemaría, la alteración propilítica se presenta en forma lateral o aislada entre las alteraciones filica y sericita-arcilla-clorita con un incremento progresivo hacia el este y partes distales del sistema. Su distribución y contactos son irregulares, con cambios abruptos en varios metros. La asociación mineral es clorita, epidoto, calcita, illita-esmectita, pirita, magnetita y hematita. La sílice se presenta como venillas esporádicas. Las concentraciones de cobre y oro son bajas, aunque en algunos sectores hay un alto porcentaje de sulfuros. Siempre se presentan venillas de yeso que cortan venillas de cuarzo, mientras que la plagioclasa está a veces levemente alterada a arcilla. Este tipo de alteración normalmente afecta a pórfiros intrusivos.

La figura 22 muestra pórfiros intrusivos con alteración propilítica con destrucción selectiva



Figura 22. Pórfiros intrusivos con alteración propilítica con destrucción selectiva de plagioclasa a arcilla



Figura 23. Pórfiros intrusivos con alteración propilítica y venillas de yeso paralelas al testigo

de plagioclasa a arcilla. La figura 23 muestra la misma roca con alteración propilítica y venillas de yeso paralelas al testigo.

Alteración sericita-arcilla-clorita

Este tipo de alteración se superpone a la propilítica y potásica y típicamente se encuentra en forma espacial por debajo de la filica. Su asociación mineral se caracteriza por clorita, sericita verde y arcilla (illita-esmectita).

La plagioclasa está alterada a arcilla amarillenta o a veces completamente lixiviada. La alteración sericita-arcilla-clorita se caracteriza también por la presencia de magnetita, pirita y yeso \pm calcopirita, con menores cantidades de calcosina y covellina comparadas con zonas de alteración filica. Se observan también venillas de feldespato potásico, las que se considera que marcan el inicio o la parte superior de la zona potásica. Esta alteración afecta a los pórfiros intrusivos y está acompañada por concentraciones más altas de Cu y Au.

Diferentes ejemplos de esta alteración incluyen: clorita dominante (fig. 24); plagioclasa lixiviada (fig. 25); arcilla dominante (illita-esmectita) (fig. 26).

Mineralización

La mineralización se caracteriza por la presencia de sulfuros diseminados y venillas de cuarzo mineralizado alojado en una granodiorita a cuarzodiorita. Pirita, calcopirita y bornita se presentan diseminados y en las venillas de cuarzo junto con calcosina; también se observan pirita y calcopirita en superficies de fractura. Además se describe magnetita diseminada; este óxido y hematita especular se hallaron en venillas de cuarzo en el intrusivo.

Hacia el oeste de la zona central hay evidencias de una zona de cuarzo-alunita de orientación NNO, evidenciada por un cambio en el estilo de alteración y la geoquímica, con significativo incremento en la relación Au/Cu. Hacia el sudeste, la zona mineralizada parece ser truncada por un falla de bajo ángulo, posiblemente extensional (Nilsson y Rossi, 2006).

Según Nilsson y Rossi (2006) se identificaron tentativamente venillas de tipo D (pirita con escaso cuarzo y halos de cuarzo-sericita-pirita y localmente turmalina) y zonas de cuarzo-alunita, ambos indicados como pertenecientes al estadio tardío. Los dos tipos de venillas tempranas, de tipo A (cuarzo-magnetita-biotita-calcopirita con

otros minerales en contenido variable) y cuarzo bandeado, también podrían estar presentes en Josemaría, de acuerdo a observaciones de testigos de perforación.

La extensión del sistema modelado por Nilsson y Rossi (2006) para el cálculo del recurso estimado es de aproximadamente 900 m en dirección nortesur y 850 m en dirección este-oeste. La extensión vertical real del depósito no se conoce aún; la extensión de las perforaciones fue de 4.855 a



Figura 24. Clorita dominante



Figura 25. Plagioclasa lixiviada



Figura 26. Arcilla dominante (illita-esmectita)

4.125 m s.n.m. y la mayor longitud perforada fue de 520 metros. Para la modelización, la extensión vertical considerada fue de 795 metros

El modelo de depósito actual, de acuerdo con Nilsson y Rossi (2006), tiene tres zonas definidas: una zona mineralizada principal, una capa lixiviada (entre 50 y 150 m de espesor) y la secuencia volcánica.

Tamaño del yacimiento

Como resultado de las campañas de perforación en Josemaría arriba citadas, la actualización de la estimación de recursos inferidos brindada por la empresa a diciembre de 2007 (<http://www.suramina.com/s/Resources-Reserves.asp>) indica 460 Mt con ley de 0,39% Cu y 0,30 g/t Au, para una ley de corte de 0,3% Cu (Nilsson y Rossi, 2007) (cuadro 1).

Modelo genético

Para Josemaría, Nilsson y Rossi (2007) propusieron un modelo de depósito de tipo pórfiro de Cu-Au-Mo asociado a un modelo de vetas epitermales de Au-Ag (alta/baja sulfuración). Rode y Carrizo (2007) señalaron que el depósito tiene características de pórfiro de cobre.

PLOMO-CINC-PLATA

Las Carachas

El área Las Carachas es una de las anomalías definidas por Norwest en 1992; incluye al distrito minero Las Carachas y tres áreas de alteración hidrotermal identificadas por imágenes satelitales.

Distrito minero Las Carachas

Generalidades

Se ubica en el faldeo occidental del cordón de la Brea, entre 4.100 y 4.300 m sobre el nivel del mar. Está vinculada por ruta y huella no consolidada a la localidad de Jagüé, de la que dista 168 km; desde esta localidad se emplean entre 5 y 6 horas para acceder al antiguo campamento minero. Deben utilizarse vehículos de doble tracción. Los trabajos y el acceso son posibles entre principios de noviembre y fines de abril; durante el resto del año la zona está cubierta por nieve y hielo.

Las coordenadas del campamento son 28° 48' 01" S y 69° 25' 48" O. El distrito incluye las minas

La Negra, La Argentina, San Mateo, Josefina, Maruja, Ana María, El Arroyo, Sur y Crucero. Las pertenencias mineras son propiedad del Sr. Josué Escudero. Las áreas de alteración fueron exploradas por la Compañía Minera Solitario Argentina SA.

Los trabajos conocidos sobre este distrito son los realizados por Murici y Menoyo (1958), Muchino y Miolano (1970), Cevinelli (1986, 1987), Cevinelli y Petrelli (1986), Menoyo (1987), Panteleyev (1998) y Cravero (2004).

Leyes

En la ficha mina realizada por Cevinelli y Petrelli (1986) se encuentran datos de leyes y magnitudes de las minas del distrito (cuadro 2).

Según Cevinelli y Petrelli (1986), se encontraron valores de hasta 3,6 g/t Au en La Argentina, 1,1 g/t en San Mateo y valores continuos de 0,06 hasta 2,2 g/t Au en La Negra.

Menoyo (1987) dió a conocer el cuadro comparativo de cubicaciones globales del distrito (cuadro 3).

El mencionado autor realizó un detallado análisis del aspecto económico del distrito según los valores de los metales en el momento de la elaboración del informe.

Reservas

De acuerdo al trabajo de Muchino y Miolano (1970), las cinco primeras minas podrían contener las siguientes reservas positivas-probables: 4.160 t Pb, 856,6 t Zn y 15,325 t Ag. Cevinelli y Petrelli (1986) estimaron un contenido de 1.440 t Pb, y 6,24 t Ag para la mina La Argentina. Los valores totales alcanzan 5.600 t Pb, 856,6 t Zn y 21,565 t Ag.

Respecto a estimaciones sobre mineral de cabeza, Cevinelli y Petrelli (1986) dieron las siguientes cifras:

mina La Negra: 8.000 t posibles, 12.000 t probables y 80.000 t "hipotéticas" (según Cevinelli y Petrelli, 1986), con leyes de 12,3% Pb, 7,6% Zn y 0,057% Ag.

minas La Argentina, Sur, San Mateo, La Josefina y Maruja: 12.000 t posibles con 12% Pb y 520 g/t Ag, y 54.000 t posibles con 10% Pb y 170 g/t Ag.

Producción

No hay datos sobre la producción parcial o total de este distrito.

Historia del distrito

El distrito fue descubierto por los conquistadores españoles; con posterioridad, los jesuitas exploraron y realizaron labores en las vetas. Luego el distrito permaneció sin actividad hasta la década de 1950.

Desde 1950 hasta 1961 las minas del distrito fueron explotadas por el propietario, Sr. Roger Faraut. Durante este primer período la explotación fue irracional, dirigida a la extracción de “bonanzas”; el material extraído se trataba en una planta de mal diseño y bajo rendimiento, ubicada en las inmediaciones del campamento. Depósitos como La Josefina y San Mateo quedaron

parcialmente aterrados y destruidos al final de esta etapa. Las tareas se realizaban desde principios de noviembre hasta fines de abril.

En 1965 el Sr. Faraut firmó un contrato de explotación por el sistema de *royalty* con la empresa Della Motta-Ferrari, la que se abocó a la explotación de la mina La Negra, la menos dañada durante la anterior gestión. Si bien contaron con dirección técnica, carecían de capital y herramientas adecuadas para la explotación. Los avances se hacían por barrenado manual y explosivos y el material obtenido se seleccionaba manualmente en boca mina, siendo luego despachado directamente a las firmas Insud

Cut-off (%)	Millones de t	Ley Cu (%)	Ley Au (g/t)
0,2	692	0,33	0,25
0,3	374	0,40	0,29
0,4	131	0,52	0,35
0,5	60	0,61	0,37
0,6	26	0,70	0,38
0,7	10,2	0,80	0,38
0,8	3,7	0,89	0,37

Cuadro 1. Recursos inferidos en el yacimiento Josemaría (Rossi, en Nilsson y Rossi, 2007)

MINA	POTENCIA MEDIA (m)	LONGITUD TOTAL (m)	LEY MEDIA Pb %	LEY MEDIA Zn %	LEY MEDIA Ag g/t
La Negra	0,42	85	15,70	10,50	1.092
Crucero	0,52	122	23,70	3,51	437,40
San Mateo	0,12	11	15,22	2,62	109,33
Josefina	1,08	63	41,22	2,02	1.971,33
El Arroyo	0,52	58	16,37	4,29	97
La Argentina	0,50	270	12	0	520
Sur	sin datos	sin datos	8,5	0	64
Maruja	0,30	100	sin datos	sin datos	sin datos

Cuadro 2. Leyes y magnitudes de las minas del distrito (Cevinelli y Petrelli, 1986). (Las Carachas)

REFERENCIA	RESERVAS MINERAL IN SITU (t)	CONTENIDO Pb FINO (t)	CONTENIDO Zn FINO (t)	CONTENIDO Ag FINA (kg)
Menoyo-Murici (1961, en Menoyo, 1987)	13.373	1.477	200	8.224
Muschino-Miolano (1970)	21.318	3.084	819	14.056
Murillo-Miolano (1974, en Menoyo, 1987)	6.089	1.345	318	8.614

Cuadro 3. Comparación de cubriciones globales del distrito (Menoyo, 1987). (Las Carachas)

SA y Promina SA instaladas en Buenos Aires. Los trabajos de esta sociedad se practicaban durante todo el año y se extendieron hasta 1967.

En 1968, el Sr. Della Motta le compró los derechos al Sr. Ferrari y con otros socios formó la Compañía Minera Las Carachas, propietaria de las minas La Negra, La Argentina, La Josefina, La Azul, San Mateo, Sur y Maruja. Esta compañía explotó las minas desde marzo de 1968 hasta fines de febrero de 1969. Con el aporte de capital se adquirieron compresores, camiones de doble tracción y vehículos de transporte de personal. Las viviendas se mejoraron y se trabajó todo el año con 45 obreros, 8 técnicos de servicios, 6 empleados administrativos y 3 directivos. Los trabajos se interrumpieron por el incumplimiento de algunos socios en el aporte de capital comprometido. El mineral extraído se seleccionaba en bocamina y se enviaba a una planta de tratamiento en la ciudad de San Juan.

Hasta 1958 se había realizado un total de 2.800 m de labores, entre piques, socavones y galerías. El laboreo total del distrito se estima en 3.500 m (Cravero, 2004).

El distrito fue explotado mediante galerías sobre veta en distintos niveles y subniveles. Se

practicaba “circado” cuando la veta era muy angosta (Cravero, 2004).

Marco geológico

En el borde oriental del área el basamento está constituido por sedimentos de la Formación Ranchillos intruidos por granitos y pórfiros riolíticos de la Formación Carnerito. En el borde occidental los granitoides están cubiertos por conglomerados rojizos y riolitas de posible edad permo-triásica. Cubriendo en discordancia a las rocas del basamento se extiende una capa de 100 a 300 m de espesor de volcanitas ácidas y mesosilícicas pertenecientes a la Unidad Doña Ana. *Plugs* basálticos de edad reciente cortan la secuencia volcánica.

La tectónica regional predominante es de edad terciaria y orientación NE-SO, caracterizada por el ascenso y disposición escalonada de bloques del basamento y las sedimentitas y volcanitas que lo cubren (Cravero, 2004).

Geología del depósito

En el ámbito del distrito (fig. 27) afloran volcanitas pertenecientes a la Unidad Doña Ana. Se trata de andesitas, dacitas y menor proporción



Figura 27. Distrito Las Carachas. Vista general

de riolitas del Miembro (o Formación) Tilito, intruidas por pórfiros dacíticos, brechas intrusivas y diques riolíticos más jóvenes, posiblemente representantes del Miembro (o Formación) Escabroso. Los pórfiros y brechas intrusivas han producido zonas de alteración arcilloso-sericítica y silíceo en las rocas encajantes.

El distrito se ubica en la intersección de fallas NE-SO con una megaestructura de rumbo NO-SE, que proporcionó los conductos donde se emplazaron vetas mineralizadas (Cravero, 2004).

La mayoría de las vetas se aloja en andesitas, con excepción de las minas La Negra (andesitas y dacitas), La Argentina (fig. 28) (pórfiro dacítico) y Ana María (brecha intrusiva). Las soluciones que formaron estas vetas sólo alteraron las rocas de caja de la mina La Josefina, donde las andesitas muestran una fuerte alteración arcillosa (Cravero, 2004).

La mineralización se concentra en lentes o bolsones de hasta un metro de ancho y 5 a 25 m de diámetro, ligados entre sí por finas guías

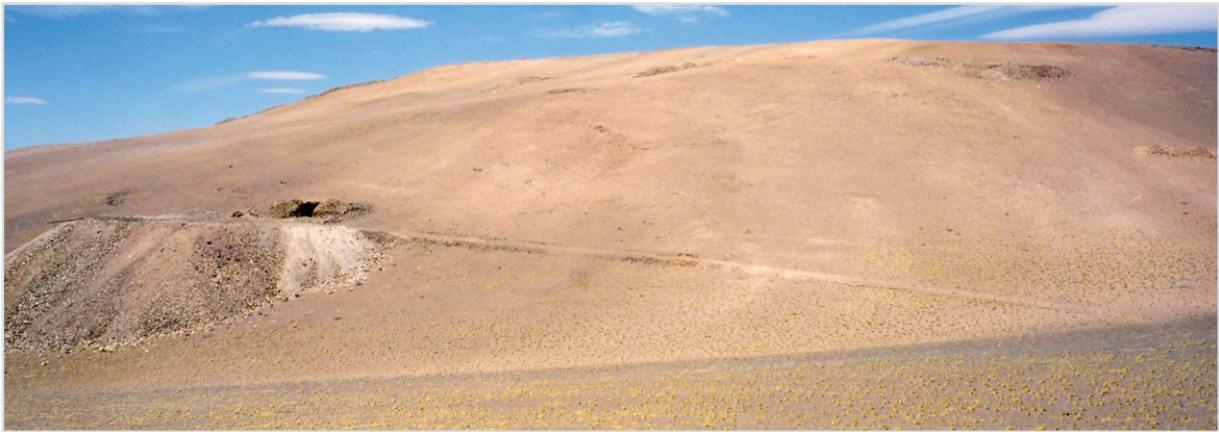


Figura 28. Vista de la bocamina de mina La Argentina



Figura 29. Veta de la mina La Argentina

de mineral, conformando estructuras en rosario (Cravero, 2004).

En la figura 29 se observa la veta de la mina La Argentina.

Las vetas son rellenos de estructuras de tensión. La mineralogía está representada por galena, esfalerita, pirita, calcopirita, cerusita, azurita y malaquita, en ganga de cuarzo, óxidos de hierro, baritina y yeso. Se observan inclusiones de polibasita y tetraedrita en galena, considerados como los portadores de plata (Segal, 2001).

En las estructuras de tensión hay relleno bandeado de galena, cerusita, esfalerita y cuarzo microcristalino; los demás minerales mencionados están en muy escasa proporción (Cravero, 2004).

Todos los laboreos se realizaron en la zona de oxidación y no se observaron cambios verticales en la mineralización (Cravero, 2004).

Los rumbos e inclinaciones de las vetas se muestran en el Cuadro 4.

Alteración hidrotermal

En la parte central-sur del área Las Carachas, la imagen de alteración JERS-1 (JICA-MMAJ, 1999a) detectó una zona de alteración sericítica compuesta por tres segmentos de aproximadamente 2 km de largo y 200 a 500 m de ancho, orientados NO-SE, E-O y NE-SO. El primero se observa sobre el curso del arroyo Macho Muerto, el segundo se extiende hacia el poniente de la mina La Argentina y el tercero, con discontinuidades, se prolonga hasta el área Las Carachas Norte. En el punto de unión de estos segmentos la imagen satelital detecta alteración sílice-alunita, y coincide con el afloramiento de un pórfiro dacítico y brechas intrusivas con clastos del pórfiro, afectados por intensa alteración sericítica y silicificación en forma de vetas y guías de cuarzo-pirita, cuarzo-limonita y cuarzo-hematita. Este sector fue explorado por la Compañía Minera Solitario Argentina SA presumiblemente durante 1993 y 1994, mediante trincheras y perforaciones. Las vetas

de Pb-Zn-Ag del distrito estarían relacionadas con este sistema porfírico y se emplazaron en estructuras NO-SE, ya sea en brechas piroclásticas dacíticas (minas La Argentina, Santa Rosa, La Negra) o en coladas andesíticas poco alteradas que coronan la secuencia volcánica terciaria (minas La Josefina, Maruja, San Mateo, y otras).

En el distrito Las Carachas, en las minas Santa Rosa y Argentina, se efectuaron estudios de minerales de alteración hidrotermal por espectrometría SWIR. Los mismos revelaron la presencia de illita 1M de baja temperatura y cristalinidad moderada a alta, illita en mezcla semicuantitativa con caolinita (relación 80%/20%), illita en mezcla semicuantitativa con clorita férrica (relación 50%/50%), e illita-esmectita.

La illita se forma a temperaturas entre 200 y 250°C, mientras que la illita-smectita indica rangos entre 100 y 200°C (Townley, 2000). La caolinita indica temperaturas típicamente en el rango <150-200°C, con un pH entre 4 y 5. La clorita se forma en condiciones de pH neutro a alcalino y temperatura entre 200 y 250°C. La sericita indica un rango de pH 5 a 6 y temperaturas sobre los 250°C (Townley, 2000).

Al noroeste del campamento, en las nacientes del arroyo Macho Muerto, la zona de alteración **Las Carachas Oeste** está definida por una faja de 1,7 km de largo y 400 m de ancho, elongada en dirección NNO-SSE y limitada en su borde oriental por una zona de falla de 70 m de ancho e igual arrumbamiento. En la mitad austral afloran dacitas y riolitas del Grupo Choiyoi y, en la septentrional, andesitas y dacitas de la Unidad Doña Ana cortadas por diques de andelacita cuarzosa. En toda la faja, aparece alteración sericítica de carácter moderado a fuerte. La alteración arcillosa (illita-esmectita-caolín) está bien desarrollada en el sector norte. La silicificación pervasiva y como venillas ha sido observada en el extremo sur. La continuidad de esta faja aparece más al norte, en el costado opuesto

MINA	RUMBO	INCLINACIÓN
La Negra	N 30-45° O	60-83° NE
La Argentina	N 40-50° O	60-85° NE
San Mateo	N 20-60° O	50-55° NE
Josefina	N 20-55° O	50-65° NE
Maruja	N 45° O	40° NE
Ana María	N 40° O	40° NE

Cuadro 4. Rumbos e inclinaciones de las vetas de las minas del distrito Las Carachas (Cravero, 2004)

de un valle aluvial, donde se observa una zona de intensa alteración sericítico-arcillosa en brechas y coladas de andelacita. Una datación Ar/Ar sobre biotita en una andelacita fresca indica una edad de 22,9 millones de años. La Compañía Minera Solitario Argentina SA realizó nueve perforaciones y aproximadamente un kilómetro de trincheras en la faja alterada.

En el segmento Las Carachas Oeste, los estudios de alteración hidrotermal por espectrometría SWIR, que confirmaron las observaciones mineralógicas al microscopio, revelaron la presencia de illita 1M de baja temperatura y moderada a alta cristalinidad, illita en mezcla semicuantitativa con caolinita (relación 60%/40%) y clorita magnésiana en mezcla semicuantitativa con illita (relación 60%/40%). La illita ocurre en un rango de pH 5 a 6 y temperaturas de 200 a 250°C (Townley, 2000). La caolinita se encuentra en rangos de pH entre 4 y 5 y temperaturas típicamente entre <150 y 200°C (Townley, 2000). La clorita se forma en condiciones de pH neutro a alcalino y rangos de temperatura entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

La sericita observada en el campo indica un rango de pH 5 a 6 y temperaturas sobre los 250°C (Townley, 2000).

El área **Las Carachas Norte** hasta el momento no ha sido investigada; se encuentra en las nacientes del arroyo de la Mina, 4 km al norte del campamento. La imagen JERS-1 (JICA-MMAJ, 1999a) indicó la presencia de alteraciones sericítica y silíceas.

Geocronología

Sólo hay dataciones de las volcanitas del sector Las Carachas Oeste. Se supone que los cuerpos intrusivos son contemporáneos de los que fueron datados en las áreas Los Mogotes y Cerro Amarillo, situados sobre la misma megaestructura de rumbo NO-SE (Cravero, 2004).

Panteleyev (1998) realizó una datación en biotita inalterada de una riocacita por el método Ar/Ar, que dió como resultado una edad de 22,9 ± 0,5 millones de años. Este autor señaló que esta edad es consistente con la de la etapa de volcanismo de la Unidad Doña Ana, cuya edad es oligocena superior a miocena inferior (27-18 Ma).

Modelo genético

En base a la mineralización vetiforme de Pb-Zn-Ag (± Au-Ba), Cravero (2004) consideró este distrito como polimetálico simple (14 c), de tipo

epi-mesotermal, relacionado con *stocks* y brechas intrusivas de posible edad miocena media.

3.1.2. ÁREAS DE ALTERACIÓN

1. Peñas Negras (La Vicuña, La Ollita y Río Tamberías)

Generalidades

Comprende los prospectos La Vicuña, La Ollita y Río Tamberías. Los derechos de propiedad de La Vicuña pertenecen a YAMIRI SA. La Ollita abarca parte de dos cateos cuyos propietarios son YAMIRI SA y Lir-Fer SRL. Los derechos de Río Tamberías corresponden a la Compañía Minera Solitario Argentina SA. La ubicación se muestra en el Cuadro 5.

Existen tres variantes de acceso desde la localidad de Jagüé (La Rioja); la más utilizada implica recorrer 200 km por la ruta internacional a Chile hasta el río Salado y luego huellas mineras hasta Peñas Negras.

El descubrimiento de las áreas de alteración hidrotermal y anomalías de Cu-Pb-Zn tuvo lugar entre 1970 y 1973 durante la prospección geoquímica ejecutada por el Servicio Minero Nacional (Plan Cordillera Norte). Durante 1987 y 1988 las áreas fueron muestreadas por geólogos de BRGM. En 1992 Norwest Mine detectó anomalías de color en el área, mediante interpretación de imágenes satelitales TM. A partir de 1994 el área fue investigada, prospectada y explorada por empresas mineras (Minera Eldorado SA, Compañía Minera Solitario Argentina SA, y otras).

En Río Tamberías (fig. 30), la Compañía Minera Solitario Argentina SA realizó una exploración durante 1994 y 1995. Se excavaron trincheras y se perforaron 5 sondeos por aire reverso totalizando alrededor de 500 metros. En estos sondeos se intersectaron rocas volcánicas intensamente argilizadas y silicificadas, que tienen intensa oxidación y filones de cuarzo, en los que el oro

	Latitud sur	Longitud oeste
La Vicuña	28° 16' 54"	69° 24' 37"
La Ollita	28° 18' 08"	69° 26' 21"
Río Tamberías	28° 19' 09"	69° 26' 19"

Cuadro 5. Coordenadas de los prospectos La Vicuña, La Ollita y Río Tamberías

disminuyó abruptamente (Rode y Carrizo, 2007). Según estos autores, Minera Eldorado SA reinició los estudios en las trincheras mediante muestreos en canaleta, obteniendo valores de hasta 0,5 g/t Au y más de 200 g/t Ag; también se hicieron estudios de resistividad, polarización inducida y magnetometría terrestre.

En La Ollita (fig. 31), Minera Eldorado SA realizó una exploración entre 1994 y 1997. Se recolectaron muestras de suelos, se perforaron más de 13.000 m y se realizaron trincheras en rocas volcánicas de la Formación Peñas Negras. Se ejecutaron estudios geofísicos de polarización inducida, resistividad y magnetometría, como así también estudios petrográficos y calcográficos y por espectrometría de reflectancia SWIR (Rode y Carrizo, 2007).

En la figura 32 se observa una trinchera en el área La Ollita.

Marco geológico

De acuerdo con Cravero (1999), las características geológicas del área tienen correspondencia con las de la Faja Maricunga, representando posiblemente el extremo austral de la misma. El basamento está compuesto por granodioritas y monzonitas cuarzosas que afloran al oeste de los prospectos. Muy cerca de La Vicuña, la granodiorita muestra alteración arcillosa e intensa epidotización en un área de 800 por 1.000 m, sin mineralización asociada. Ninguna de las perforaciones ha cortado el basamento en profundidad, por lo cual se supone que ha sido montado por fallas sobre las volcánicas terciarias.

La Formación Peñas Negras comienza con un conglomerado basal que contiene bloques de granito, sobre el que se depositaron sucesivamente brechas y aglomerados volcánicos, lavas andesíticas y dacíticas, tobas y brechas



Figura 30. Río Tamberías. Vista de la zona de alteración



Figura 31. La Ollita. Vista del área de alteración, hacia el este

andesíticas, un conjunto compuesto por areniscas, limolitas y tufitas, un conglomerado fluvio-glacial y coladas andesíticas. Este paquete, de al menos 400 m de espesor, fue sincrónicamente intruido por domos dacíticos o cuarzo-dioríticos y sus diques asociados.

Los niveles lacustres indican un hiatus de calma tectónica y actividad eruptiva. El plegamiento de la Formación Peñas Negras señala un evento tectónico previo a la depositación de las volcanitas de Formación Cerro de Las Tórtolas, que no fueron deformadas y se disponen como estructura homoclinal con inclinación al este (Cravero, 1999). Niveles morénicos rellenan depresiones topográficas.

Petrografía y alteración hidrotermal

En el sector **La Ollita**, se han identificado andesitas, brechas andesíticas, tobas, un domo dacítico y rocas totalmente alteradas.

Las **andesitas** tienen fenocristales de *andesina media*, con pasaje leve a moderado a material arcilloso, sericita y carbonato, y de *hornblenda* totalmente oscurecida por óxidos de hierro. La pasta es intersertal, levemente fluidal,

desdibujada por invasión de carbonato. Tablillas de plagioclasa y prismas oscurecidos de hornblenda basáltica forman una trama, que adquiere cierta orientación en la cercanía de los fenocristales; el carbonato se encuentra ampliamente distribuido desde microgranular hasta concentraciones de granos mayores.

En las **brechas andesíticas**, la textura brechosa muestra límites poco netos entre los probables clastos; éstos corresponden a una roca porfírica andesítica, en parte fluidal, oscurecida por óxidos de hierro rojizos. Algunos incluyen una roca ácida con fenocristales de cuarzo y alteración arcilloso-sericítica.

En cuanto a las **tobas**, tienen composición fenoandesítica y en ellas se reconocen dos fracciones: una cristalina y otra lítica. Los fragmentos alcanzan un tamaño máximo de 2 milímetros. Predomina la fracción cristalina, que está constituida mayoritariamente por plagioclasa reemplazada en parte por sericita fina y otros minerales micáceos; hay exiguo cuarzo de formas irregulares. La fracción lítica es accesoria y se compone de pastas de rocas andesíticas. Ambas fracciones se encuentran cementadas por mineral



Figura 32. La Ollita. Trinchera

micáceo fino (clorita y biotita?) que los envuelve y destaca sus contornos.

En La Ollita aparece un **domo** de tonalidad amarillenta totalmente alterado y rodeado por morenas, en el que se ha descrito alteración arcillosa avanzada con pirofilita, zunyita y rutilo (Cravero, 1999). También hay alteraciones cuarzo-sericítica, arcillosa y propilítica, esta última con clorita, albita, calcita y esmectita. El domo, de composición dacítica, presenta textura porfírica, parcialmente enmascarada por alteración. Los fenocristales son de *plagioclasa* reemplazada totalmente por un mineral laminar de extinción simultánea (sericita? material arcilloso?), de *cuarzo* con fuerte corrosión magmática y de *minerales* máficos (anfíbol reemplazado por mineral opaco, y posible biotita escasa). La pasta es un agregado microcristalino de sericita, cuarzo, material arcilloso y mineral opaco, con concentraciones de jarosita.

Además, en La Ollita se hallan **rocas totalmente alteradas**, en las que pueden verse fantasmas de textura porfírica muy desdibujada. Los fenocristales son de *plagioclasa* con reemplazo total por sericita muy fina y arcillas. El resto de la roca es una fina mezcla de cuarzo, material arcilloso, óxidos de hierro y jarosita; con frecuencia hay gránulos de mineral opaco. Se observa reemplazo de posibles fenocristales por un mineral arcilloso laminar, asociado a granos de cuarzo. Se encuentra fuertemente craquelada.

En la alteración arcillosa se ha identificado illita, sola (del tipo 1M, de baja temperatura) o en mezcla semicuantitativa con muy pequeñas proporciones de jarosita y yeso, como así también montmorillonita, arcilla de origen supergénico.

En todas las rocas descritas, la sericita y las arcillas han afectado a los fenocristales de plagioclasa y pastas de las andesitas y tobas, como así también clastos y matriz de las brechas, desdibujando las texturas y dificultando su identificación.

En cuanto al área **La Vicuña**, las alteraciones observadas en el campo son cuarzo-sericítica, arcillosa, silíceo (fajas estrechas de rumbo N-S) y propilítica.

Los estudios petrográficos permitieron definir dacitas y andesitas.

Las **dacitas** son porosas; muestran fenocristales escasos y pequeños de *cuarzo* y *plagioclasa*, esta última de probable composición

sódico-cálcica y alteración sericítica leve. En la pasta se observa intercrecimiento microgranular de cuarzo, laminillas de sericita y grumos de minerales opacos y semiopacos.

En las **andesitas** se hallan fenocristales de posible *mineral máfico* de hasta 3 mm, totalmente reemplazado por epidoto asociado con sericita y cuarzo; otros fenocristales son de *plagioclasa* alterada intensamente a sericita. En la pasta hay tablillas de plagioclasa, en parte con disposición fluidal, apenas discernibles por su alteración a sericita, epidoto, mineral opaco y escaso cuarzo.

Las andesitas en ocasiones están brechadas por penetración de cuarzo. Los “clastos” tienen contornos redondeados y muestran fuerte alteración sericítica con material arcilloso subordinado. El cuarzo se presenta a modo de trama de cristales prismáticos, enturbiado por numerosas inclusiones fluidas y grumos de óxidos de hierro.

Mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR, se identificó illita, sola o en mezcla semicuantitativa con caolinita (relación 70%/30%), como así también probablemente montmorillonita, de origen supergénico.

En **Río Tamberías**, la zona de anomalía se encuentra en las volcanitas de la Formación Peñas Negras, que se encuentran intruidas por un pórfiro dacítico que en sectores presenta un intenso venilleo del tipo A/B (Gustafson y Hunt, 1975). Hay argilización intensa a moderada y silicificación penetrativa en sectores de fracturación intensa. También se observa alteración propilítica en las volcanitas más básicas (Rode y Carrizo, 2007).

Entre las volcanitas, hay lapillitas de dos tipos: una de probable composición riodacítica y la otra traquítica o traquiandesítica; también se hallaron brechas posiblemente piroclásticas y dacitas.

En las **lapillitas de probable composición riodacítica** se distingue una fracción cristalina y una lítica. La cristalina está representada por tablillas de plagioclasa cálcica, alteradas en forma parcial a total en sericita y óxidos de hierro; también se hallan fragmentos de cuarzo de diámetro diverso, algunos de gran desarrollo, y escasa proporción de pequeñas tablillas de sanidina. Agregados de óxidos de hierro y sericita podrían representar minerales máficos alterados.

La fracción lítica se compone de vitrófiros desvitrificados, posibles andesitas de pasta fluidal y traquitas.

La matriz es prominentemente vítrea,

transformada en un agregado microcristalino sericítico-arcilloso.

Las **tobas lapilíticas de probable composición traquítica o traquiandesítica** muestran dos fracciones: cristalina y lítica, con predominio amplio de la primera. Dentro de la fracción cristalina, los feldespatos (andesina ácida y feldespato potásico) son los más conspicuos; se advierten tablillas y fragmentos alterados casi totalmente a minerales arcillosos y escasa sericita. Hay escasos minerales máficos, representados por concentraciones de gránulos opacos en pseudomorfosis. Es exigua la proporción de cuarzo.

La fracción lítica se compone de fragmentos redondeados, generalmente de pastas de rocas traquíticas y/o andesíticas, rocas silicificadas y agregados finos con alteración total.

La matriz es una fina asociación de minerales arcillosos, sericita y abundantes grumos de óxidos de hierro.

También se encuentran **brechas posiblemente piroclásticas**, con alteración filica. En ellas, la fracción lítica está compuesta por rocas efusivas ácidas, con fenocristales o fragmentos de cuarzo, tablillas alteradas de feldespato y posibles minerales máficos en pasta micro a criptocristalina, rocas intermedias de pasta pilotáxica, y mosaicos finos de cuarzo, posible pasta de rocas silicificadas.

La alteración es total a sericita, cuarzo intersticial y gránulos semiopacos, por lo que la distinción entre piroclastos y matriz es dificultosa.

La alteración filica que afecta a las brechas ocurre en un rango de pH 5 a 6 a temperaturas sobre los 250°C (Townley, 2000).

Las **dacitas** tienen textura porfírica. Entre los fenocristales se identifican *cuarzo* escaso, *andesina media a básica* muy craquelada y en general inalterada, y *anfíbol* totalmente reemplazado por un agregado fino de mineral opaco, cuarzo y óxidos de hierro. La pasta es microgranosa, formada por cuarzo como mineral preponderante, tablillas aisladas de plagioclasa, posible biotita desferrizada, clorita intersticial y abundantes granos de mineral opaco.

Las alteraciones reconocidas son arcillosa y propilítica.

Se identificaron illita sola y en mezcla semicuantitativa con jarosita (relación 30%/70%), y también illita-esmectita. La illita sola corresponde al politipo 1M (baja temperatura) y probablemente

sea supergénica. En cuanto a la illita-esmectita, indica temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

De acuerdo con datos aportados por perforaciones, las alteraciones cuarzo-sericítica y silíceas aumentan su intensidad en profundidad, predominando en las cúpulas de los pórfiros y en las rocas de caja inmediatas (Cravero, 1999). Es probable que las mismas hayan reemplazado a la alteración potásica, de la que en superficie sólo se observan finas venillas.

En los tres prospectos se detectó alteración supergénica ácida, con caolinita, alunita, jarosita, yeso y goethita (Cravero, 1999).

Mineralización

La mineralización se presenta en vetas, *stockworks*, fajas y relleno de estructuras brechosas. Los estudios calcográficos realizados en muestras de La Ollita y La Vicuña revelan pirita, arsenopirita alterándose a escorodita, calcosina primaria reemplazada por covellina y calcosina secundaria, esfalerita, magnetita, y hematita reemplazando a pirita y magnetita (Cravero, 1999). La ganga de la mineralización es cuarzo, excepto en La Vicuña (fig. 33) donde también se observó carbonato.

En La Ollita, los estudios de inclusiones fluidas realizados por JICA-MMAJ (1999b) revelaron temperaturas de formación entre 160° y 270° C, con salinidades moderadas a bajas.

El oro aparece como oro nativo asociado a pirita. Minerales de Cu y As se encuentran en vetas mesotermales? posiblemente derivadas de intrusivos. Se halla electrum junto con minerales de Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb y Bi en cuarzo epitermal de menor temperatura (Cravero, 1999). Minera Eldorado SA ha comunicado la presencia de anomalías y minerales de Te dentro de la asociación epitermal, como así también de oro supergénico en trincheras de La Vicuña.

JICA-MMAJ (1999b) señaló que el sistema hidrotermal La Ollita-Río Tamberías-La Vicuña se caracteriza por la abundancia de oro. En venillas de cuarzo se obtuvieron leyes máximas de 6,6 g/t Au, 117 g/t Ag, 3,2% Cu y trazas de Mo. En el mismo trabajo se informó sobre el resultado del muestreo realizado (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo) (cuadros 6 a 11).

Rode y Carrizo (2007) indicaron que en el sector norte de la anomalía en La Ollita se encuentran valores altos de oro y plata asociados a

telururos en las volcanitas y abundante jarosita (Ballantyne, 1997, en Rode y Carrizo, 2007). Entre los 80 y 100 m, por debajo de una cubierta morénica actual, los sondeos de la zona central interceptaron material hipogénico de pórfiros de oro-cobre. Se detectaron asimismo dos pórfiros e intrusiones múltiples. A un kilómetro hacia el oeste, un sondeo detectó mineralización de cobre-oro alojada por encima de 200 metros.

Modelo genético

El emplazamiento de cuerpos cuarzo-dioríticos en la parte basal y media de la Formación Peñas Negras durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior permitió el desarrollo de sistemas porfíricos de Au-Cu caracterizados por alteración hidrotermal en su cúpula y rocas encajantes inmediatas y por la presencia de oro nativo asociado a minerales de Cu y As. La tectónica compresiva posterior produjo plegamiento, fracturación y brechamiento del conjunto (Cravero, 1999). En el consiguiente período de distensión se reinicia la actividad volcánica (Formación Cerro de Las Tórtolas);

siguiendo los conductos creados se desarrolla un sistema epitermal relacionado con pequeños *stocks* de composición dacítica. En esta etapa, una alteración cuarzo-sericítica se superpone a la alteración potásica original y hay desarrollo de alteración arcillosa avanzada en niveles sub-superficiales. Los fluidos hidrotermales circulan por fracturas y fajas de brechamiento depositando electrum, telururos y minerales de Cu, Pb, Zn, As, Sb y Bi. En la depositación epitermal probablemente las aguas meteóricas intervinieron en el proceso de enfriamiento, y están sin duda relacionadas con el oro supergénico.

Rode y Carrizo (2007) señalaron el sector Río Tamberías como un sistema epitermal con Au, Ag y As (Te) asociado a una mineralización del tipo pórfiro de cobre con anomalías de Au-Cu (Mo) en los cuerpos subsuperficiales y sin posibles zonas de enriquecimiento supergénico.

En el sector La Ollita, los autores mencionados postularon un sistema hidrotermal que se superpone a un sistema porfírico cubierto por material morénico.



Figura 33. La Vicuña. Trinchera

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM201	125	1	150	0,018	80	<10
ASM202	125	<1	240	0,004	80	<10
ASM204	105	<1	370	0,016	60	<10
ASM206	10	1	40	0,001	40	<10
ASM207	280	4	30	0,008	40	<10

Cuadro 6. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (La Ollita)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH202	5	<0,2	3	32	4	<2	<1
ATH203	350	<0,2	4	228	16	<2	<1
ATH204	2	0,2	5	72	2	2	3
ATH205	2	<0,2	3	14	2	<2	<1
ATH206	3	0,2	47	50	174	32	1
ATH208	98	13,8	54	22	22	480	12
ATH209	2.710	58,2	53	4.570	20	164	5
ATH210	14	0,6	31	86	110	22	<1
ATH211	26	0,2	3	34	6	<2	<1
ATH212	2.980	71,2	125	56	12	118	2

Cuadro 7. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (La Ollita)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ATH220	6680	117	32.900	0,162	1.920	<10

Cuadro 8. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (La Vicuña)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH221	18	0,8	2	8	18	2	<1
ATH222	19	<0,2	41	112	282	2	1
ATH224	270	1,8	2	164	14	<2	<1
ATH225	170	<0,2	4	6	4	<2	3
ATH226	24	0,6	572	16	750	348	13
ATH227	225	3,4	11	270	38	18	3

Cuadro 9. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (La Vicuña)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM208	10	<1	10	<0,001	20	<10

Cuadro 10. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Río Tamberías)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH213	44	0,4	7	18	18	12	<1
ATH214	30	0,8	16	22	14	10	<1
ATH216	2920	107,0	66	3.510	30	68	8
ATH218	69	0,2	6	56	8	28	<1

Cuadro 11. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Río Tamberías)

2. Área Río Bermejo

Generalidades

El área Río Bermejo está ubicada entre las quebradas de Río Blanco y La Laguna. Sus coordenadas son: 28° 22' 51" S y 69° 30' 32" O. Fue explorada en 1994 y 1995 por las empresas Compañía Minera Solitario Argentina SA, Minera Eldorado SA y TNR. Durante esa exploración, se realizaron mapas geológicos, mapas temáticos de alteración, muestreos de sedimentos de corriente, talud, suelo y roca (Rode y Carrizo, 2007).

Geología del depósito

En el área aflora un **granito** rosado de grano grueso intruido por un cuerpo riolítico-dacítico y diques asociados, cuyo emplazamiento está controlado estructuralmente, con alteración hidrotermal. En el sector norte del prospecto afloran **volcanitas** terciarias brechosas fuertemente silicificadas, que ponen de manifiesto una estructura de rumbo N 70° E. Otra estructura semejante al norte se asocia a una faja silicificada de más de 10 m de potencia. La geología se completa con coladas de andesitas que pertenecen a unidades de la Formación Cerro de Las Tórtolas (Rode y Carrizo, 2007).

Petrografía y alteración hidrotermal

El **granito** tiene textura granosa alotriomorfa. Se compone de *cuarzo* con extinción ondulosa hasta mosaicos suturados, cuyos contactos con feldespato presentan gruesos intercrecimientos gráficos; *ortosa* peritítica con caolinización incipiente, y *plagioclasa* sódica muy subordinada con leve sericitización. Se observan venillas aplíticas con los mismos componentes, escasa moscovita y óxidos de hierro.

La identificación de las arcillas en el granito dió como resultado la presencia de montmorillonita, que junto con la caolinita constituye una asociación supergénica.

El **pórfiro riolítico-dacítico** muestra textura porfírica, con baja densidad de fenocristales y pasta microgranofírica. Los fenocristales son de *cuarzo* de poco desarrollo, con borde granofírico fino; pequeños relictos de *feldespato potásico*, reemplazado por material arcilloso y epidoto; láminas aisladas de *biotita* desferrizada, y posible *anfíbol* con reemplazo total por epidoto y óxidos de hierro. La pasta es un agregado de crecimientos esferulíticos cuarzo-feldespáticos;

intersticialmente se dispone un fino mosaico de sericita y material arcilloso (vidrio alterado?) con pequeñas "motas" de epidoto y óxidos de hierro. Muy escasa fluorita ocupa cavidades.

En este tipo litológico se determinó la presencia de illita del politipo 1M (baja temperatura), en mezcla semicuantitativa con exigua clorita de hierro (relación 90%/10%); la illita 1M es indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

Los diques riolíticos que intruyen al granito se emplazaron siguiendo la dirección principal de fracturación N 30° E. Diaclasas y fracturas de esta dirección y su complementaria N 60°-70° O han sido rellenadas por cuarzo blanco lechoso conformando venas y venillas, cortadas por una segunda generación de venillas de cuarzo gris oscuro. Estas venillas ocurren tanto en el granito como en el pórfiro riolítico y diques; estudios calcográficos de las mismas detectaron escasos cristales de piritita y magnetita.

En el sector norte del prospecto, en las **volcanitas** brechosas, al microscopio la silicificación se manifiesta como venas y zonas de cuarzo prismático, y algunos intercrecimientos de tipo gráfico; no existen restos de la textura de la roca original brechada, ya que se observa sólo una asociación granular fina de cuarzo con sericita y material arcilloso. En estas volcanitas se determinó la presencia de una mezcla semicuantitativa de illita-esmectita y caolinita (relación 50%/50%). La illita-esmectita indica un rango de pH entre 5 y 6 y de temperaturas entre 100 y 200°C. La caolinita se forma en rangos de pH entre 3 y 4 y temperaturas entre <150 y 200°C (Townley, 2000).

Este volcanismo está asociado a una pequeña estructura de caldera actualmente ocupada por una laguna, rodeada por anillos de tobas y cenizas.

Estas volcanitas brechosas están intruidas por un **pórfiro lacítico** cuarzoso. Este pórfiro tiene fenocristales de *oligoclasa*, inalterada a levemente caolinizada, y escaso *mineral máfico* representado por concentraciones y hojuelas de biotita desferrizada y óxidos de hierro; algunos granos discretos de cuarzo no llegan a constituir verdaderos fenocristales. La pasta es mediana a fina, de textura granosa a granofírica, formada por tablillas de plagioclasa y granos irregulares de cuarzo, de aspecto esponjoso

por su intercrecimiento con feldespato potásico caolinizado. En la pasta se observan laminillas intersticiales de biotita desferizada.

En el pórfiro lacítico se identificó una mezcla semicuantitativa de illita-esmectita y caolinita (relación 60%/40%). La illita-esmectita indica un rango de pH entre 5 y 6 y de temperaturas entre 100 y 200°C. La caolinita se forma en rangos de pH entre 3 y 4 y temperaturas entre <150 y 200°C (Townley, 2000).

Para Rode y Carrizo (2007), la mineralización se asocia a un sistema de tipo pórfiro de cobre y oro.

3. Área El Potro

Generalidades

El área El Potro se ubica cerca de la frontera con Chile (fig. 34), unos 150 km al NO de Jagüé, entre 4.500 y 5.000 m sobre el nivel del mar. Se accede con vehículo de doble tracción. Las coordenadas son 28° 23' 50" S y 69° 32' 44,5" O.

Los derechos de prospección pertenecen a YAMIRI SA. Desde 1994 Minera Eldorado SA llevó a cabo investigaciones mediante muestreo geoquímico, perfiles geofísicos y trincheras, en un *joint venture* con YAMIRI SA que luego fue disuelto.

Geología del depósito

Este prospecto es un sistema complejo de intrusiones múltiples en la intersección de dos grandes estructuras: una es la zona de cizalla NO-SE que continúa decenas de kilómetros en territorio chileno, y la otra es la denominada Faja El Potro.

El basamento está formado por granitos y granodioritas de la Formación Carnerito que, luego de la eliminación de su cobertura, fueron intruidos

durante el Triásico por pórfiros riolíticos y cubiertos por sus lavas asociadas del Grupo Choiyoi. Diques de diabasas y andesitas de edad incierta cortan el basamento. En el Cretácico superior se emplazó un cuerpo diorítico cuarzoso al que se considera relacionado con la mineralización; una datación de esta roca, realizada por JICA-MMAJ (1999b), le asignó una edad de 74 Ma (método K/Ar). En la parte cuspidal del área aflora un intrusivo dacítico de posible edad terciaria; corta a la diorita cuarzosa y está afectado por alteración potásica, arcilloso-sericítica y silicificación. La alteración potásica, representada por biotita secundaria y venillas de ortosa, es casi exclusiva del pórfiro. La arcillosa, compuesta por la asociación caolinita ± sericita-cuarzo, afecta al pórfiro y granitoides circundantes, al igual que la silicificación. Esta última aparece como sílice masiva o como finas venillas de cuarzo gris que rellenan fisuras y forman un *stockwork* de baja densidad. La aparición de ferromolibdenita en algunas de estas guías permite suponer que el color se relaciona con la presencia de finos cristales de molibdenita en su interior (Ríos Gómez *et al.*, 1997).

También se encuentran volcanitas (Formación o Miembro Tilito) y pórfiros (Formación o Miembro Escabroso), ambos con alteración silícea y sericítico-arcillosa.

Tres kilómetros al sur, en territorio sanjuanino, está expuesto un pórfiro riodacítico afectado por fuerte silicificación, mostrando en su cresta fajas de sílice masiva con óxidos de hierro, limonitas, carbonatos de cobre y azufre nativo.

En la investigación de Minera Eldorado SA, sólo una de 367 muestras analizadas tiene contenido de interés en Au (5 ppm). Durante la prospección del Plan La Rioja, 2 de 40 muestras fueron anómalas en ese metal, y se consideraron valores puntuales. Los análisis efectuados por JICA-MMAJ (1999b) dieron un máximo de 330



Figura 34. El Potro. Vista del área de alteración

ppb Au y 499 ppm Mo, con manchas de minerales oxidados de cobre. En el mismo trabajo se informó sobre el resultado del muestreo realizado (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo) (cuadros 12 y 13).

En la imagen satelital La Puntilla (AA6063) se observaron zonas de notable alteración arcillosa al sur y norte del camino de acceso, que alcanzan un kilómetro de diámetro. El estudio de la zonalidad de alteraciones con JERS-1 (JICA-MMAJ (1999a) detectó alunita y caolinita en zonas de alteración arcillosa; la presencia de alunita fue confirmada por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR.

Petrografía y alteración hidrotermal

Los **granitos** de la Formación Carerito tienen color gris, gris amarillento, castaño rosado claro o castaño grisáceo claro. Se observa textura granosa inequigranular a localmente equigranular, en general subhipidiomorfa aunque en ocasiones es gráfica, y de tamaño variable entre fino y grueso. Los componentes son: *cuarzo*, en general enturbiado por numerosas inclusiones fluidas;

feldespato alcalino (en parte microclino) que con frecuencia muestra perfitas; *oligoclasa a oligoandesina* subordinada en proporción al feldespato alcalino; y sólo *biotita* como mineral máfico.

Esporádicamente tanto la plagioclasa como el cuarzo están afectados por cataclasis, proceso que se evidencia por distorsión de las maclas y granulación y fragmentación, respectivamente.

En general, los feldespatos están escasamente alterados a arcillas y sericita, con o sin epidotos; en cambio, la biotita está totalmente cloritizada o bien transformada en sericita, rutilo y mineral opaco.

En forma local, se observa que los feldespatos están totalmente reemplazados por un agregado afieltrado de sericita asociada a escaso material arcilloso. Esta alteración produce además desferrización de la biotita; como resultado de ello se encuentran agregados de cristales diminutos de rutilo, al que acompañan sericita y mineral opaco.

Sólo en un caso, a la alteración de los feldespatos a sericita se asocian escaso cuarzo y pequeños pero abundantes individuos de diásporo microgranular; también están presentes agregados

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM212	<5	<1	10	<0,001	20	10
ASM213	15	<1	10	<0,001	<20	<10
ASM214	10	<1	50	<0,001	<20	40
ASM215	55	<1	720	<0,001	<20	110
ATH240	330	<1	3.190	<0,001	20	80

Cuadro 12. Valores de oro, plata cobre, plomo, cinc y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (El Potro)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH229	6	<0,2	26	2	12	<2	5
ATH230	6	<0,2	7	2	<2	<2	1
ATH231	63	<0,2	7	2	<2	<2	1
ATH232	3	<0,2	41	4	6	<2	1
ATH233	9	0,2	3	8	<2	<2	4
ATH234	24	<0,2	11	2	2	2	10
ATH235	4	<0,2	46	<2	2	6	17
ATH236	27	0,2	74	2	2	<2	31
ATH237	9	0,2	70	2	<2	<2	67
ATH238	16	0,2	90	2	2	<2	115
ATH239	11	<0,2	329	<2	16	2	24
ATH241	42	<0,2	190	6	4	10	499
ATH242	4	<0,2	56	<2	2	<2	4

Cuadro 13. Valores de oro, plata cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (El Potro)

de diminutos cristales de rutilo y escaso circón.

Entre las arcillas, se identificaron illita 1M de baja temperatura y moderada a alta cristalinidad e illita-esmectita. La illita está presente en rangos de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C; la illita-esmectita se forma entre los 100 y 200°C (Townley, 2000). La clorita probablemente es parte de la alteración arcillosa intermedia.

El diásporo asociado a sericita forma parte de la alteración arcillosa avanzada, con temperaturas entre 230 y 260°C (Hedenquist *et al.*, 2000); por lo tanto, se sugiere una investigación más detallada de esta alteración en el granito.

Las **granodioritas** de la Formación Carnerito son rocas de textura granosa equigranular subhipidiomorfa, de grano mediano. Se componen de *cuarzo* anhedral a subhedral; *andesina ácida*, con maclado y alteración incipiente a sericita y epidoto; *ortosa*, subordinada en proporción con respecto a la plagioclasa, con micropertitas e incipiente alteración arcillosa; y *minerales máficos* (posible *biotita* y en menor proporción hornblenda, ambas cloritizadas y epidotizadas, con mineral opaco asociado; la primera lo está en forma total, mientras que la hornblenda conserva algunos relictos inalterados).

En estas rocas se identificaron alunita y yeso en pequeñas proporciones, considerándose que estos minerales tienen origen supergénico, al igual que jarosita y limonitas.

A la Formación Carnerito pertenecen también pórfiros granodioríticos y sienodioríticos.

Los **pórfiros granodioríticos** tienen color castaño amarillento claro o castaño rosado; en muestra de mano la textura es porfírica, con fenocristales de cuarzo y feldespato en pasta afanítica.

Al microscopio, se observan escasos fenocristales de *cuarzo* y *plagioclasa*, en una pasta microgranosa con pasaje a granofírica. El cuarzo está corroído y en casos presenta bordes granofíricos. La plagioclasa se encuentra alterada en forma parcial a total a sericita y material arcilloso. Algunos fenocristales inmaclados podrían corresponder a feldespato alcalino. La pasta se compone de tablillas de plagioclasa rodeadas por agregados granofíricos; estos agregados están constituidos por individuos irregulares de cuarzo con intercrecimientos gráficos con feldespato potásico. Se encuentra además sericita intersticial. En otros casos, la pasta es microgranosa y está formada por cuarzo, plagioclasa y feldespato

potásico, siendo dificultosa la distinción entre uno y otro debido al grado de alteración arcillosa que presentan.

Los estudios de arcillas por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR detectaron illita que se forma a temperaturas entre 200 y 250°C, e illita-esmectita entre 100 y 200°C; estas arcillas son indicadoras de pH entre 5 y 6 (Townley, 2000).

En cuanto a los **pórfiros sienodioríticos**, presentan color gris pardo y textura porfírica, con fenocristales blanquecinos apenas discernibles de algunos milímetros de longitud, y oscuros más pequeños. Se observan agregados de crisocola ampliamente distribuidos a manera de pequeñas motas verdes.

Al microscopio, la textura porfírica está representada por fenocristales (más del 50%) de *plagioclasa* y *mineral máfico*. La plagioclasa es zonal, y está inalterada y maclada difusamente, con bordes muy irregulares y festoneados por intercrecimiento con cuarzo. El mineral máfico está totalmente alterado a clorita y biotita de origen secundario, acompañada por mineral opaco y rutilo. La pasta es granosa, y se compone de un mosaico de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, con abundantes laminillas de biotita, clorita y arcillas.

Este tipo litológico ha sido parcialmente afectado por invasión silícea y alteración potásica (fase biotítica). En la primera, el cuarzo forma venas. La alteración potásica está representada por biotita que forma, además de nidos y laminillas aisladas, finas guías que atraviesan la roca.

Los estudios por espectrometría de reflectancia SWIR detectaron una mezcla semicuantitativa de biotita con illita y exigua jarosita (relación 50%/40%/10%). La biotita de alteración potásica se forma a alta temperatura, entre 400 y 800°C, aunque la biotita tardía en venillas ocurre principalmente en el rango 350°-400°C, y es más rica en Mg. esta alteración indica pH neutro a alcalino. La illita es indicadora de pH 5 a 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

También hay diques que intruyen a la Formación Carnerito, que son afaníticos, de coloración gris pardo clara, grano fino y estructura maciza. Tienen una textura que consiste en tablillas orientadas euhedrales de *plagioclasa*; intersticialmente, hay un agregado fino de posible feldespato y escaso cuarzo. La textura se encuentra parcialmente obliterada por una moderada alteración sericítica que afecta a las tablillas y al

material intersticial. No se observan minerales máficos, pero sí agregados de microgránulos de mineral opaco.

La arcilla identificada es illita del polítipo 1M, que corresponde a las temperaturas más bajas, con moderada a alta cristalinidad e indicadora de pH entre 5 y 6 (Townley, 2000).

En el Grupo Choiyoi se encuentran pórfiros riolíticos y sus lavas y piroclastitas asociadas.

Las **lavas riolíticas** tienen color rosa pardusco y textura porfírica. Los fenocristales son de *plagioclasa* sódica con alteración sericítico-arcillosa muy incipiente, y más pequeños y aislados de *cuarzo*, de formas redondeadas a irregulares. La pasta posee características granofíricas, y está formada por finos intercrecimientos micrográficos de cuarzo y feldespato potásico. Son frecuentes los gránulos de minerales opacos; hay además escaso epidoto, generalmente ocupando venillas y asociado a mineral opaco.

Se identificó illita-esmectita, arcilla que indica pH entre 5 y 6 y temperaturas entre los 100 y 200°C (Townley, 2000).

Como parte del Grupo Choiyoi, también forman parte **tobas lapillíticas riolíticas**. Estas rocas tienen cristaloclastos de *cuarzo*, *plagioclasa ácida* y *feldespato potásico* con leve caolinización. Se reconocen además litoclastos, todos de rocas volcánicas, cuyos tipos litológicos corresponden a riolitas esferulíticas, porfíricas o microgranulares, pastas de rocas traquíticas, agregados finos de cuarzo y mosaicos de sílice; muchos de ellos conservan restos de texturas fluidal y perlítica y cúmulos de sericita. La matriz consiste en un agregado muy fino, producto de alteración, posiblemente sílice y material arcilloso proveniente de vidrio desvitrificado (?).

Los diques de **diabasa** son rocas de color gris verdoso y grano fino. Al microscopio, se destacan aislados fenocristales de *plagioclasa*. La pasta de la roca está constituida por pequeñas tablillas entrelazadas de *plagioclasa* albitizada y localmente reemplazada por carbonato-albita, que encierran en sus intersticios abundante clorita, carbonato microgranular y mineral opaco, este último producto de alteración de minerales máficos; el reemplazo por carbonato en parte es masivo. En otros casos, en los intersticios se disponen muy abundantes y finas laminillas o escamas de posible biotita; otra asociación está constituida por individuos de hornblenda, epidoto y escasa clorita. La adición de abundante carbonato microgranular,

epidoto y hornblenda, esta última en núcleos y venas de pequeños prismas, y granos de mineral opaco, oblitera parcialmente la roca original.

También son comunes las venillas de epidoto acompañado por escasa clorita.

En cuanto a los diques de **pórfiros andesíticos**, se trata de rocas de color gris oscuro, en general afaníticas, aunque esporádicamente presentan fenocristales de feldespato y mineral máfico de hasta 0,5 cm de longitud, en pasta afanítica. Al microscopio, se observa una textura porfírica, con fenocristales de *andesina* y *minerales* máficos. La roca ha sido afectada por alteración potásica; la *plagioclasa* está reemplazada en forma parcial por laminillas de biotita de distribución homogénea, y los minerales máficos han sido alterados totalmente por concentraciones de biotita fina asociada a mineral opaco y rutilo. La pasta está parcialmente obliterada por la alteración potásica; hay un intercrecimiento de tablillas de *plagioclasa* con los minerales de la asociación potásica representados por cuarzo, feldespato potásico, abundantes hojuelas de biotita y mineral opaco. La biotita secundaria forma también nidos y venillas.

Hay venillas de cuarzo-feldespato alcalino, de cuarzo y otras más finas de feldespato alcalino.

La alteración potásica de alta temperatura (400 a 800°C) se caracteriza por ser selectiva y penetrativa. La biotita de la asociación potásica tiene composición férrica heredada de la biotita original; la biotita tardía rellena venillas y probablemente sea más rica en Mg. El primer tipo de biotita se presenta en mezcla semicuantitativa con caolinita e illita (relación 70%/20%/10%), arcillas de origen supergénico. La asociación potásica se forma en condiciones de pH neutro a alcalino (Townley, 2000).

En otros casos, los pórfiros andesíticos tienen textura porfírica seriada; los fenocristales son de *andesina-labradorita*, *hornblenda basáltica* y otro *mineral máfico* alterado a clorita en forma total. La pasta está compuesta por un agregado muy fino de posible feldespato, mineral opaco y clorita. Hay venas finas irregulares de clorita, epidoto y cuarzo.

Una tercera variante textural muestra alteración propilítica incompleta. La textura consiste en tablas entrelazadas de *plagioclasa*, muy alterada a arcillas, sericita y albita. Como mineral máfico aparece *hornblenda* verde; algunos individuos son de dimensiones mayores y se encuentran intercrecidos con *plagioclasa* ocupando los espacios

intercristalinos. La hornblenda se presenta también en prismas pequeños que constituyen “nidos”, a veces dentro de cristales mayores. Como minerales secundarios hay epidoto y escasa clorita.

La asociación epidoto-clorita (\pm albita \pm carbonatos) que afecta a los pórfiros andesíticos se forma en condiciones de pH neutro a alcalino y rangos de temperatura entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

Los estudios petrográficos del **pórfiro dacítico** terciario se realizaron en muestras tomadas de la zona de alteración arcilloso-sericítica. En esta zona, el pórfiro tiene color gris claro a gris verdoso. La textura es porfírica, observándose fenocristales de hornblenda (algunos de hasta un centímetro de longitud) y otros más pequeños de feldespato, en una pasta de grano mediano a fino.

Al microscopio, puede advertirse que en los sectores con menor intensidad de alteración los fenocristales son de *oligoclasa básica*, *cuarzo* y *mineral máfico*. La oligoclasa está levemente reemplazada por sericita y arcillas. El mineral máfico se encuentra totalmente alterado a una asociación de epidoto, clorita y mineral opaco, minerales que también aparecen constituyendo cúmulos y venillas. La pasta se compone de plagioclasa, cuarzo y escaso feldespato potásico intersticial o intercrecido con cuarzo; hay clorita y escaso epidoto como productos secundarios, junto con escaso cuarzo residual.

La determinación de las arcillas dió como resultado illita, en mezcla semicuantitativa con clorita férrica (relación 80%/20%). La illita indica pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La clorita se considera como integrante de la alteración arcilloso-sericítica.

En los casos en que la alteración arcilloso-sericítica es total, se observan fenocristales de *feldespato* totalmente reemplazados por masas de sericita fina y escasas arcillas, a pesar de lo cual algunos individuos conservan el contorno tabular original. Otros fenocristales son de *cuarzo* de desarrollo apenas mayor que el grano de la pasta, y de *biotita* desferrizada. La pasta original fue convertida en un agregado formado por cuarzo asociado a sericita. Son muy frecuentes pequeños alvéolos conteniendo jarosita.

La arcilla identificada en este sector de alteración total es illita, en mezcla semicuantitativa con muy escasos cuarzo y jarosita; indica pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

El **pórfiro riódacítico** ubicado en territorio

sanjuanino es de color gris. Tiene textura porfírica, en la que los fenocristales representan el 50% del total de la roca; entre ellos se reconocen *cuarzo*, *plagioclasa* y *biotita*. El cuarzo muestra buen desarrollo, con bordes sinuosos y en algunos casos reemplazados por un mosaico del mismo mineral; presenta gran cantidad de inclusiones sólidas y fluidas. La plagioclasa posee un avanzado reemplazo zonal por arcillas, característica que impide su determinación. La biotita se halla en individuos pseudohexagonales inalterados. La pasta es granosa mediana; está formada por granos equidimensionales de cuarzo, feldespato potásico que a veces alcanza mayor desarrollo sin llegar a constituir fenocristales, biotita desferrizada y escasas tablillas de plagioclasa.

Caolinita e illita son las arcillas presentes en mezcla semicuantitativa (relación 70%/30%), y probablemente de origen supergénico.

En el Miembro (o Formación) Tilito, las **volcanitas** tienen color gris claro y grano fino, y están surcadas por venillas de cuarzo; hay zonas de color más claro.

Al microscopio, se observa que la textura original ha sido totalmente obliterada por alteración silícea y sericítico-arcillosa. La roca fue convertida en una fina asociación de sericita, minerales de arcilla y cuarzo, en la que se destacan frecuentes individuos o nódulos irregulares de cuarzo enturbiado por numerosas inclusiones puntiformes.

También hay venillas y nódulos de cuarzo granular más limpio, asociado a escasa alunita.

Los estudios de los minerales de arcilla detectaron illita del politipo 1M, con moderada a alta cristalinidad, que indica pH entre 5 y 6 y se forma a las temperaturas más bajas dentro del rango 200 a 250°C (Townley, 2000).

En el Miembro (o Formación) Escabroso, los **pórfiros** son rocas de color gris y grano fino, macizas, con impregnaciones amarillentas de jarosita y otras rojizas; se encuentran *boxworks* locales de pirita.

La intensa alteración sericítica y silícea ha obliterado totalmente la textura primaria, quedando como resultado un agregado de grano irregular de sericita y cuarzo. Sin embargo, se distinguen pequeños nódulos de cuarzo granoblástico, posible reemplazo de fenocristales del mismo mineral; concentraciones de sericita, a veces con bordes rectos, podrían representar individuos alterados de feldespato.

Por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR, se identificó moscovita en mezcla semicuantitativa con jarosita (relación 70%/30%), confirmando la mineralogía hallada por el estudio petrográfico; la moscovita se forma en un rango de pH 5 a 6 y temperaturas sobre los 250°C (Townley, 2000).

4. Área Los Mogotes

Generalidades

Se ubica en las cabeceras del río Macho Muerto, a pocos metros del límite con Chile, a una altitud de 4.400 a 4.700 m sobre el nivel del mar. El acceso vehicular es posible desde octubre hasta fines de abril. Las coordenadas del área son 28° 34' 17" S y 69° 39' 43" O.

Minera Macho Muerto es la propietaria de los derechos mineros.

Geología del depósito

El prospecto Los Mogotes (fig. 35), descrito por JICA-MMAJ (1999b) como un depósito de tipo pórfiro de cobre y molibdeno, es un área de alteración de 3 x 2 km en la intersección entre una cizalla NO-SE y la Faja El Potro, de dirección NE-SO, que a partir de este punto continúa en territorio chileno. El sector investigado es un circo glaciario situado en el extremo sur del área alterada, el que por su mayor nivel de erosión muestra las raíces de un gran estratovolcán mioceno. Afloran aquí granitos de la Formación Los Mogotes cubiertos parcialmente por volcanitas de la Unidad Doña Ana e intruidos por un *stock* riódacítico de 17,1 Ma y otro, dacítico, de 15,3 Ma, ambos relacionados con la mineralización. En el sector SE del área aparecen brechas y diques andesíticos pertenecientes a la Formación Cerro de Las Tórtolas cubriendo en discordancia a las rocas antes nombradas. En el cuadrante NE el *stock* más antiguo ha producido una intensa alteración filica del encajante, surcado por un denso *stockwork* de venillas de cuarzo portadoras de pirita, calcopirita y calcosina; el cruce y desplazamiento entre venillas indica al menos dos eventos de aporte hidrotermal. En venas de algunos centímetros de espesor se observan geodas de cuarzo piramidal con cristales bien desarrollados de yeso y azufre nativo. Rodados de vetas de cuarzo con molibdenita indicarían la presencia de estas vetas en la pared norte del circo glaciario, cubierta por

derrubios. En el cuadrante SO aflora la cúpula del *stock* más joven, con venillas portadoras de pirita, calcopirita y calcosina. En el borde norte de esta cúpula yacen bancos de yeso con azufre nativo.

El muestreo geoquímico de superficie realizado por Minera Macho Muerto dio valores de 10 a 70 ppb Au, 8 a 125 ppm Cu y 1 a 138 ppm Mo. Un sondeo de aire reverso alcanzó 134 m de profundidad, cortando un intervalo de 4 m con 0,95% Cu, en lo que se considera una veta de cuarzo.

Los análisis químicos de JICA-MMAJ (1999b) dieron resultados de 24 ppb Au, 100 ppm Cu y mineralización de molibdeno visible. En el mismo trabajo se informó sobre el resultado del muestreo realizado (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo) (cuadros 14 y 15).

El relleno de fracturas por sericita y la abundancia de yeso y azufre nativo serían indicadores de la acción de un pulso epitermal superpuesto al sistema porfírico.

Petrografía y alteración hidrotermal

El **pórfiro más antiguo** tiene color blanco grisáceo y presenta numerosas venillas de sílice que cortan la roca y separan zonas porfíricas de otras microgranulares, que le confiere a la roca un aspecto brechoso de difícil diagnóstico debido a la alteración.

En superficies de meteorización se depositan limonitas terrosas amarillas (jarosita).

Al microscopio, se observa una textura obliterada por alteración filica, y que posiblemente haya sido porfírica. Restos de individuos de cuarzo y concentraciones de sericita bien desarrollada asociada a escaso material arcilloso indicarían fenocristales de cuarzo y feldespato respectivamente. El resto de la roca es un mosaico equidimensional de cuarzo con sericita intersticial, en el que se destacan algunas concentraciones de rutilo.

El análisis por el método de espectrometría de reflectancia SWIR dió como resultado moscovita, indicadora de pH entre 5 y 6 y temperatura por encima de los 250°C (Townley, 2000).

El **pórfiro más joven** también está afectado por alteración filica total. En muestra de mano tiene color castaño amarillento claro, estructura maciza y grano fino y homogéneo. Se destacan algunos puntos blanquecinos que no llegan a definir una textura porfírica.

Al microscopio se puede observar que la alteración total ha obliterado la textura original.

La roca se ha convertido en un agregado de cuarzo intercrecido en forma irregular con sericita fina y posible material arcilloso. Hay abundantes grumos de mineral opaco y escaso rutilo homogéneamente distribuidos.

Las determinaciones del material arcilloso dieron como resultado illita en mezcla semicuantitativa con jarosita (relación 60%/40%). La illita indica pH entre 5 y 6 y temperatura entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La jarosita es de origen supergénico.

Las **brechas** de la Formación Cerro de Las Tórtolas son rocas de tonalidad blanquecina, con clastos angulosos blanco-grisáceos de diámetro variable entre pocos milímetros y varios centímetros, afaníticos y aspecto silíceo, cementados por un material blanco poroso teñido localmente por limonitas amarillas.

Al microscopio se observa una textura brechosa. Los clastos están constituidos por mosaicos equidimensionales de cuarzo enturbiado por impurezas; otros, también silíceos, son a su vez brechas con clastos microcristalinos. El cemento se compone de fragmentos de cuarzo y de baritina de hábito prismático, acompañados por material arcilloso isótropo de color pardo.

El estudio por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR ha identificado caolinita en mezcla semicuantitativa con alunita e illita (relación 50%/30% 20%). La caolinita es indicadora de pH entre 4 y 5 y puede coexistir con alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4; la arcilla se forma a temperaturas entre <150 y 200°C. La illita se forma en rangos de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). Dado que la alunita



Figura 35. Alteración hidrotermal del área Los Mogotes

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH268	24	0,4	77	<2	4	8	20
ATH269	1	<0,2	67	6	10	<2	29
ATH272	<1	2,8	63	44	8	8	2
ATH273	4	<0,2	29	12	6	8	15
ATH274	4	0,2	72	6	2	88	16
ATH275	1	0,2	26	<2	2	10	41
ATH276	<1	0,2	71	6	12	18	3
ATH277	18	0,2	46	<2	2	6	2

Cuadro 14. Valores de oro, plata cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Los Mogotes)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM228	5	<1	100	<0,001	20	<10
ASM229	<5	<1	40	0,003	<20	10
ATH267	10	<1	90	0,001	20	590

Cuadro 15. Valores de oro, plata cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Los Mogotes)

sólo se detectó por este método, se sugiere la realización de más estudios de detalle para localizar sectores con este mineral.

En la Formación (o Miembro) Tilito de la Unidad Doña Ana se encuentran **andesitas cuarcíferas**. Son rocas de color gris claro y textura porfírica, con fenocristales blanquecinos y verdosos en pasta afanítica. Hay cavidades rellenas de un mineral verdoso que tiene hábito fibroso radiado.

Al microscopio, la textura porfírica está dada por fenocristales de *oligo-andesina* parcialmente reemplazada por “parches” de carbonato y sericita, y *anfíbol* totalmente reemplazado por sericita y esferulitas de clorita, acompañadas por rutilo y en ocasiones grandes individuos de mineral opaco. La clorita se halla como relleno de oquedades, asociada a cuarzo y sericita. La pasta es microgranosa, con intercrecimiento de plagioclasa, cuarzo y posible feldespato potásico, laminillas de sericita y clorita y mineral opaco. El cuarzo también se presenta en individuos de desarrollo mayor que no llegan a constituir fenocristales.

Estas rocas están afectadas por alteración propilítica representada por la asociación clorita-carbonato.

La arcilla detectada por el método de espectrometría de reflectancia SWIR es illita-esmectita, que se forma en rangos de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

En la Formación (o Miembro) Tilito de la Unidad Doña Ana también se han identificado **lacitas cuarcíferas** con alteración propilítica. Son rocas de color gris y textura porfírica, con pequeños fenocristales blanquecinos de feldespato y oscuros (pardo-rojizos y verdosos).

Al microscopio se observa una textura porfírica; los fenocristales son de *plagioclasa* parcialmente alterada a carbonato y sericita, *sanidina* escasa, muy aislados de *cuarzo*, abundantes de *biotita* desferrizada y cloritizada, y menos frecuentes de *anfíbol* con reemplazo total por clorita (pennina) y mineral opaco. La pasta es microgranosa; está formada por intercrecimientos de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico localmente con tendencias gráficas, laminillas de clorita y sericita, gránulos de óxidos de hierro rojizos y abundantes apatita y magnetita como accesorios.

Se identificó illita-esmectita, indicadora de rangos de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

5. Área Ritzuko

Generalidades

Se encuentra 4 km al sur del campamento de Peñas Negras, entre 4.150 y 4.350 m sobre el nivel del mar. Una huella minera rodea el área de alteración. Las coordenadas son 28° 22' 00" S y 69° 26' 15" O.

La exploración del área estuvo a cargo de Minera Eldorado SA, que en el período 1995-1997 realizó mapeo geológico, más de 2.500 m de trincheras, extracción de 825 muestras geoquímicas de esquirlas de roca y 97 muestras especiales tipo *Grab*. El trabajo se complementó con un estudio geofísico por métodos geoeléctricos y magnetométricos.

Geología del depósito

El prospecto Ritzuko es una estructura circular de bordes elevados y abruptos, con un sector central colapsado, que ha sido considerado una caldera volcánica.

En los bordes de la estructura y sectores centrales colapsados afloran coladas andesíticas con intercalaciones dacíticas, las que sobreyacen a tobos, brechas y coladas dacíticas-riodacíticas que predominan en la parte central. Este paquete volcánico de al menos 300 m de espesor es asignado a la Formación Cerro de Las Tórtolas. En el borde austral, sobre una estructura NNO-SSE, se emplazó un domo riodacítico que corta a la Formación; dos pequeños cuerpos de igual composición aparecen en el cuadrante NE del área.

El domo riodacítico muestra marcada alteración potásica y silicificación, esta última en forma pervasiva o como relleno de fisuras. Aparece alunita hipogénica esporádicamente en venillas cuarzosas. Rodeando al domo afloran pequeñas brechas intrusivas (magmáticas?, hidrotermales?) de composición dacítica con fuerte alteración arcillosa y limonitas (jarosita-hematita-goethita). La matriz de estas brechas está parcialmente silicificada; rellenan fisuras venillas de calcedonia amarillo verdosa y cuarzo oscuro con posible oropimente. Hay también venillas de alunita supergénica y

abundante yeso.

En la parte central, 1,5 km al norte del domo, aparece un sector con caolinización pervasiva, donde sólo quedan relictos de las andesitas originales. Este afloramiento parece ser representativo de un nivel subhorizontal visible en toda el área, que puede interpretarse como un paleonivel freático.

En el borde occidental del área los horizontes superiores de la Formación exhiben alteración propilítica (clorita-epidoto) cortada por fajas de rumbo N 30°-50° O de alteración arcillosa con abundantes limonitas y suave silicificación.

La prospección geoquímica de Minera Eldorado SA sólo detectó anomalías de Au en una de las brechas que rodea al domo (tramo de 3 m con 1.300-1.700 ppb Au) y en una muestra de la zona fuertemente caolinizada (6,8 g/t Au). Fuertes anomalías de As aparecen en esta última y otros sectores.

Rode y Carrizo (2007) mencionaron una fuerte anomalía de As (entre 100 y 1.000 ppm), posiblemente originada por una intensa lixiviación. Estos autores señalaron también alteración potásica en el domo.

Los estudios geofísicos indican la presencia de cuerpos de baja a muy baja magnetización asociados a cuerpos "polarizables" de resistividad moderada a fuerte, los que posiblemente señalen mineralización metálica en los sectores central y central-este del prospecto.

6. Área Río Blanco

Generalidades

Se ubica en el faldeo norte del valle del río Blanco, 5 km al sur de la caldera Ritzuko, entre 4.000 y 4.100 m sobre el nivel del mar. Desde el campamento de Peñas Negras se accede al área en aproximadamente 30 minutos. Las coordenadas son 28° 25' 18" S y 69° 26' 30" O.

Los derechos mineros pertenecen a la Compañía Minera Solitario Argentina SA. El área es una anomalía de color de 3 po 4,5 km (Rode y Carrizo, 2007). La exploración fue realizada por Minera Eldorado SA entre 1994 y 1997 mediante mapeo geológico a escala 1:25.000, muestreo geoquímico de suelos, rocas y sedimentos de corriente e investigación

geofísica mediante 7 perfiles de polarización inducida y magnetometría.

En 2007, el área estaba bajo control de Deprominsa.

Geología del depósito

Las características geológicas son similares a las del área Ritzuko; afloran volcanitas mesosilíceas y ácidas de la Formación Cerro de Las Tórtolas intruidas por un domo riolítico emplazado en la megatraya NNO-SSE antes mencionada. Esta estructura divide al área en dos sectores: uno oriental, donde el domo está rodeado por brechas y tobas riolíticas, y otro occidental, deprimido, donde predominan brechas y coladas andesíticas cubiertas parcialmente por coladas basálticas. En el domo y rocas circundantes se observa moderada alteración cuarzo-sericítica y silicificación, la que adquiere carácter pervasivo en las brechas piroclásticas; en la base del domo se observa alteración cuarzo-sericítica fuerte. En el extremo norte del sector oriental afloran dacitas porfíricas con fuerte alteración arcillosa avanzada, caracterizada por la presencia de caolinita-pirofilita-diásporo. Las rocas mesosilíceas y básicas del sector occidental muestran alteración propilítica (clorita-epidoto), interrumpida por áreas de alteración arcillosa. En el cuadrante SO, fracturas paralelas a la principal hospedan fajas de brechas cementadas por sílice oscura, con abundantes limonitas y sin mineralización visible de sulfuros. Estas brechas contienen clastos de limolitas y lutitas que indicarían la presencia de un basamento sedimentario carbonífero. En este mismo cuadrante, aflora un pórfiro ácido alterado, posiblemente posterior a la Formación Cerro de Las Tórtolas.

Los estudios de magnetometría revelan marcadas estructuras de rumbo N-S, mientras que los de resistividad indican fajas de cuerpos "polarizables" elongadas en esa dirección.

La prospección geoquímica de Minera El Dorado detectó algunos sectores débilmente anómalos en Au, con anomalías puntuales de As, Pb y Zn. En una muestra de batea se aisló una chispa de oro superior a 100 micrones. En muestras analizadas por JICA-MMAJ (1999b) se obtuvieron valores de 175 ppb Au en venillas de cuarzo y de 15 a 55 ppb Au en rocas lixiviadas y silicificadas. En este informe se presentan los siguientes resultados del muestreo realizado

(cuadros 16 y 17):

La temperatura de homogeneización de inclusiones fluidas en venillas de cuarzo es del orden de 250 °C y la concentración de sales es baja (1,4 a 3,8% NaCl eq.).

Según Rode y Carrizo (2007), los suelos tienen valores anómalos de As y Zn, que incluyen una zona de 700 por 120 m con un contenido débil pero anómalo de oro.

Petrografía y alteración hidrotermal

El estudio petrográfico de las volcanitas de la Formación Cerro de las Tórtolas ha permitido caracterizar vitrófiros ácidos y riolitas.

Los **vitrófiros ácidos** presentan pequeñas “motas” blanquecinas a modo de fenocristales, en una pasta afanítica castaña enmascarada por impregnaciones limoníticas. La textura es porfirica, con escasos fenocristales de *cuarzo* fragmentado; se observan además otros (feldespato?) reemplazados por cuarzo prismático acompañado en ocasiones por baritina. La pasta es microcristalina fluidal, posiblemente silíceo, oscurecida por limonitas y óxidos de hierro y arcillas puntiformes.

El estudio del material arcilloso determinó la presencia de caolinita, de origen supergénico.

En cuanto a las **riolitas**, son rocas de color gris pardusco o castaño claro, de textura porfirica, con fenocristales de cuarzo y feldespato en pasta afanítica. Ocasionalmente se observan agregados de cuerpos redondeados, a veces con superficies mamilares, cuyos intersticios se encuentran cementados por posible sílice más oscura. Es común hallar guías blancas finas y sinuosas que le confieren a las riolitas un aspecto brechoso, como

así también venillas y zonas blancas de cuarzo.

Al microscopio, las riolitas presentan textura porfirica, con fenocristales de *cuarzo* corroído, *sanidina* alterada levemente a arcillas y/o sericita y *plagioclasa ácida* en proporción subordinada o equivalente a la sanidina; en ocasiones se hallan escasos grumos de mineral opaco que podrían representar fenocristales de mineral máfico. La pasta es cuarzo-feldespática, con textura dada por crecimientos esferulíticos que a veces tienen formas esféricas o poligonales y otras irradian a partir de los fenocristales; también se ven agregados micropegmatíticos a microgranulares, con aumentos locales de tamaño de grano, con zonas intersticiales constituidas por agregados producto de desvitrificación que polarizan débilmente la luz. Ocasionalmente se observan estructuras perlíticas relicticas. En la pasta de las riolitas es muy común la presencia de mosaicos de cuarzo intercrecido con sericita.

Los estudios mineralógicos por el método de espectrometría de reflectancia SWIR permitió identificar illita e illita-esmectita, que indican un rango de pH 5 a 6 y temperaturas entre 100 y 250°C (Townley, 2000). Se identificó asimismo montmorillonita, de origen supergénico.

En casos, las riolitas se encuentran totalmente alteradas; tienen color castaño grisáceo claro y son afaníticas, observándose algunas venillas subparalelas y muy fino moteado blanquecino. La textura ha sido obliterada por alteración cuarzo-sericítica total; esencialmente se encuentran laminillas subparalelas de sericita ópticamente orientadas, con la que se intercrece cuarzo microcristalino. Se hallan además pequeñísimos prismas no determinables y gránulos de rutilo.

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
ATH245	55	0,2	15	56	10	72	2
ATH246	15	0,2	2	10	<2	<2	<1
ATH247	15	0,2	5	2	<2	8	4
ATH248	1	<0,2	<1	4	8	12	<1

Cuadro 16. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Río Blanco)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM218	<5	<1	10	<0,001	20	<10
ASM219	175	<1	10	<0,001	<20	<10
ASM220	20	<1	50	0,004	20	<10

Cuadro 17. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Río Blanco)

El estudio por el método de espectrometría de reflectancia SWIR reveló la presencia de moscovita, que se forma en un rango de pH 5 a 6 a temperaturas sobre los 250°C (Townley, 2000).

En la base del **domo**, la fuerte alteración cuarzo-sericítica le proporciona a la roca color gris claro. Se observan fenocristales blanco-amarillentos de hasta 0,8 mm de longitud en pasta afanítica salpicada por jarosita.

Al microscopio, la textura porfírica está dada por fenocristales de *cuarzo* corroídos, *plagioclasa* reemplazada en forma casi total por sericita y arcillas, *sanidina* escasa con leve argilización, y mineral máfico transformado en mica incolora, cuarzo residual y óxidos de hierro. La pasta es granosa fina, compuesta por un agregado de cuarzo, posible feldespato potásico, sericita y material arcilloso.

Hay jarosita en cúmulos de granos sustituyendo minerales opacos, en los fenocristales o distribuidos en la pasta.

La determinación de las arcillas dió como resultado illita-esmectita en una mezcla semicuantitativa con caolinita (relación 80%/20%). La illita-esmectita se forma en rangos de pH entre 5 y 6, a temperaturas entre 100 y 200°C; la caolinita indica rangos de pH ente 4 y 5 y temperaturas entre <150 y 200°C. También se identificó illita del politipo 1M con moderada a alta cristalinidad, que se forma a pH entre 5 y 6, y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

Las **piroclastitas del sector oriental** son lapillitas y tobas lapillíticas y brechas piroclásticas.

Las **lapillitas** tienen composición riolítica y andesítica; la tonalidad es blanquecina, y están intensamente alteradas a arcillas y sericita. En muestra de mano se reconocen fragmentos de algunos milímetros hasta 2 cm de longitud de arcillas blancas en una matriz pardo clara por impregnaciones limoníticas, que en otros sectores se vuelven rojizas o amarillentas. Muestran una fracción cristalina formada por escasos fragmentos de cuarzo y mosaicos del mismo mineral; se observan además abundantes concentraciones de material arcilloso en finas escamas de baja birrefringencia. En otros casos, se ven fragmentos sin forma definida que están reemplazados de manera total por material arcilloso. La matriz consiste en un agregado irregular del mismo material arcilloso, cuarzo, jarosita y posibles óxidos de manganeso.

Los estudios de las arcillas por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR revelaron que la arcilla presente es caolinita en mezcla semicuantitativa con alunita (relación 80%/20%). Esta asociación indica alteración arcillosa avanzada. La caolinita indica pH entre 4 y 5 y puede coexistir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4, y temperatura entre <150 y 200°C (Townley, 2000).

Las **tobas lapillíticas** son rocas de color gris verdoso y composición riolítica. En la fracción cristalina se encuentran cuarzo, ortosa y biotita totalmente cloritizada. La fracción lítica se compone de pastas de pórfiros esferulíticas y vítreas desvitrificadas.

La matriz está constituida por fragmentos pequeños de los minerales descritos rodeados por un agregado micro a criptocristalino con abundante clorita producto de la alteración de vidrio desvitrificado.

Los estudios mineralógicos dieron como resultado illita en mezcla semicuantitativa con clorita férrica (relación 70%/30%). La illita se forma en rangos de pH 5 a 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La clorita se interpreta como parte integrante de la alteración sericítica.

En cuanto a las **brechas piroclásticas**, tienen color castaño amarillento claro. Se distinguen litoclastos blanquecinos de formas redondeadas de hasta varios centímetros de diámetro; la matriz es de tono más oscuro debido a impregnaciones limoníticas.

En la fracción lítica, los litoclastos son de naturaleza andesítica, a veces muy amigdaloides; se observan fenocristales de plagioclasa y minerales máficos remarcados por óxidos de hierro, en una pasta oscurecida por óxidos de hierro. La matriz está formada por cristaloclastos de los mismos minerales y muy escaso cuarzo, en mesostasis originalmente vítrea totalmente reemplazada por un agregado microcristalino de material arcilloso.

Se determinó que el material arcilloso es caolinita, que se forma en condiciones de pH entre 4 y 5 y temperaturas entre <150 y 200°C (Townley, 2000).

Los **basaltos** tienen color gris y textura porfírica, con fenocristales blanquecinos y oscuros en pasta afanítica gris oscura. Al microscopio, se observan fenocristales de *labradorita* zonal, *piroxeno* alterado casi totalmente a clorita y muy escasos de *olivina* alterada a carbonato y óxidos

de hierro. La pasta es pilotáxica, con microlitos de andesina localmente orientados, abundante mineral opaco y esporádicos minerales máficos cloritizados.

En las **brechas cementadas por sílice oscura del sector oriental**, los clastos son angulosos y afaníticos, y muestran aspecto pedernaloso y coloración pardo-grisácea clara; su tamaño oscila entre pocos milímetros y varios centímetros. Se encuentran recubiertas y cementadas por limonitas que varían zonalmente entre color rojo ladrillo y amarillo hasta negruzco. Parte de las mismas parecen ser del tipo indígena, con presencia de *boxworks*. Se observa goethita con textura mamilar, laminillas de posible especularita y crecimientos de cuarzo en pequeños cristales bien formados. El estudio al microscopio de un clasto revela calcedonia en agregados compactos, acompañada por escaso carbonato e impregnada y surcada por venillas de óxidos de hierro. Hay pequeños cristales de hábito prismático y cúbico, demarcados por óxidos de hierro y rellenos por calcedonia.

Mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR se identificó diásporo caolinizado, mineral que indica una asociación de alteración arcillosa avanzada, con temperaturas entre 230 y 260°C (Hedenquist *et al.*, 2000). Se sugiere la realización de estudios petrográficos más detallados para confirmar la presencia de este mineral.

El **pórfiro ácido** que aflora en el cuadrante sudoeste del área es de color gris blanquecino, con textura porfírica; se observan fenocristales redondeados de cuarzo de 1-2 mm y tablillas blancas más pequeñas, en una pasta afanítica gris clara.

Al microscopio, la textura es porfírica. Los fenocristales están representados por *cuarzo* corroído y *feldespato* reemplazado por un mosaico difuso de feldespato potásico asociado a cuarzo que desfigura en parte sus límites y es de origen hidrotermal; a su vez, el feldespato introducido se encuentra parcialmente alterado a arcillas. Algunas concentraciones de óxidos de hierro posiblemente correspondan a un mineral máfico. La pasta es microgranosa, formada por un agregado fino cuarzo-feldespático que localmente muestra un aumento en el tamaño de grano y es producto de alteración potásica.

La arcilla identificada por el método de espectrometría de reflectancia SWIR es illita-

esmectita, indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

Modelo genético

Los informes de JICA-MMAJ (1999b) asignaron a Río Blanco un modelo de transición entre un sistema porfírico y uno epitermal de alta sulfuración.

7. Área Cerro Batedero o Arroyo Batedero

Generalidades

Se ubica al sur del cerro Chuscho, en las nacientes del arroyo Batedero, entre 4.300 y 4.400 m sobre el nivel del mar. El acceso es posible mediante mulares, cuatriciclos y motocicletas tipo enduro, desde noviembre hasta fines de abril. Las coordenadas son 28° 27'26" S y 69° 30'24" O.

El área fue prospectada por Minera Eldorado SA en 1995-1997 mediante muestreo geoquímico de rocas y sedimentos. También realizaron trabajos la empresa Deprominsa (1999 y 2002) y la Compañía Minera El Solitario y Barrick (2001).

La información que se presenta fue cedida por el geólogo J. Ríos Gómez (comunicación personal).

Geología del depósito

El basamento está integrado por granitos grises y rosados de la Formación Carnerito, aflorantes en el borde norte de la zona de alteración. En discordancia sobre el mismo yace un lacolito integrado por flujos y brechas riolíticas, originado por el ascenso de magma ácido a lo largo de una estructura N 10° a 15° O. El mismo conducto permitió el ascenso de soluciones hidrotermales que produjeron alteración cuarzo-sericítica, argilización (esencialmente caolinita) y silicificación en la estructura cómica. Con posterioridad, se depositaron brechas de andesitas verdes y coladas de andesitas y basaltos pertenecientes a la Formación Cerro de Las Tórtolas. Diques cogenéticos de andesitas y basaltos cortan al paquete volcánico. En el sur del área aflora una brecha intrusiva riolítica con manifestaciones de azufre nativo.

La silicificación se manifiesta como

venillas, vetas y lentes de cuarzo masivo, y estaría superpuesta a la alteración cuarzo-sericitica. El cuarzo posee estructura en peine, originada en el relleno de cavidades.

Se encontró abundante hematita, jarosita, pirolusita y magnetita. Los valores de Au varían entre 20 y 40 ppb en zonas silicificadas. En una muestra de batea se aisló una chispa aurífera de 50 micrones.

El área está emplazada en el cruce de megaestructuras que facilitaron la intrusión de cuerpos hipabisales y migración de fluidos a través de una zona amplia de alteración hidrotermal. Se asignaron las coladas a la Formación Peñas Negras de edad miocena media. Hacia el sur y suroeste, se encuentran grandes bloques de brechas hidrotermales intensamente silicificadas, y en el sector central un intrusivo microdiorítico, presuntamente responsable de la fuerte alteración hidrotermal (Rode y Carrizo, 2007).

8. Área Río de la Flecha (o Termas del Inca)

Generalidades

Se encuentra ubicada en las nacientes del arroyo La Flecha, en el extremo occidental del cordón del Inca. Sus coordenadas son 28° 42' 40" S y 69° 40' 20" O.

El acceso vehicular es posible entre fines de noviembre y fines de abril. Desde el campamento de Bordo Atravesado se emplea algo más de una hora para arribar al área, utilizando una huella minera abierta por la empresa propietaria. Si esta huella no es transitable, puede accederse por el oeste hasta el borde del área de alteración.

Los derechos mineros pertenecen a Minera Macho Muerto. Se realizaron estudios geológicos y geoquímicos, así como perforaciones, durante 1995 y 1996.

Geología del depósito

Río de la Flecha (fig. 36) (también conocido como Termas del Inca y Los Gemelos) es un prospecto con características que posiblemente lo incluyan entre los yacimientos epitermales de alta sulfuración con mineralización vetiforme de Au-Cu en las coladas, brechas y tobas andesíticas superiores de la Unidad Doña Ana (Miembro Escabroso). Inmediatamente al poniente del área afloran riolitas, dacitas y andesitas del Miembro Tilito, las que junto a las anteriores forman una estructura homoclinal de rumbo N-S e inclinación 25-30° E. Un kilómetro al sur del área aflora la cúpula de un pórfiro dacítico, con fuerte alteración arcillosa y abundante jarosita. El pórfiro corta al Miembro Tilito y andesitas basales del Miembro Escabroso,



Figura 36. Río de la Flecha. Zona de alteración

y puede estar relacionado con la alteración. La edad de la alteración, según JICA-MMAJ (1999b), es de $19,7 \pm 4$ millones de años.

Los cerros Los Gemelos (fig. 37) constituyen los sectores topográficamente más elevados y el centro de la zona de alteración; su color blanco amarillento es producto de la intensa alteración ácida de las originarias tobas andesíticas aflorantes, que en algunos lugares se han transformado en agregados de alunita, caolinita, yeso y cuarzo. La cumbre del morro mayor es un casquete de cuarzo *vuggy* relleno por limonitas, alunita y yeso. En la zona de alteración principal aparecen varias fracturas y brechas rellenas por cuarzo, alunita, pirofilita, diásporo, azufre nativo y pirita; esta última es el único sulfuro observado. La dirección de las vetas es motivo de controversia, ya que para algunos son radiales y para JICA-MMAJ son N 75° E a E-O. De la observación de fotografías aéreas se deduce que al menos en la cresta y faldeo occidental su rumbo varía entre N 50° E y E-O. En el informe de Minera Macho Muerto se describe un área de 700 x 1.400 m, al naciente de la principal, con tres vetas portadoras de enargita y oro, denominadas San Cristóbal, La Flecha y Crucero, en las que reside *a priori* la potencialidad económica del prospecto. El

cálculo preliminar de reservas es de 12,96 Mt, con una longitud total de vetas de 1.200 m, espesor promedio de 20 m, profundidad estimada en 200 m y peso específico de 2,7. Las leyes según muestreos de superficie son de 39 a 4.800 ppb Au, 0,5 a 118 ppm Ag, y 15 a 1.700 ppm Cu.

La imagen satelital La Puntilla, AA6053 (JICA-MMAJ, 1999a) muestra una zona notable de alteración arcillosa y limonítica. La zonalidad de alteración por JERS-1 registra una disposición zonal de alunita, caolinita y sericita, desde el centro hacia afuera.

9. Área Cerro Amarillo (Filo Amarillo)

Generalidades

Se localiza en la intersección de los ríos Los Mogotes y del Inca, entre 4.300 y 4.750 m sobre el nivel del mar. El acceso es posible entre principios de noviembre y fines de abril, utilizando dos rutas; la primera se desprende de la ruta internacional a Chile y bordea los ríos Salado, Blanco y Macho Muerto; la segunda cruza el cordón de la Brea pasando por la mina Margarita. En ambos casos el tiempo estimado desde la localidad de Jagüé es de 7 horas.



Figura 37. Alteración en los cerros Los Gemelos

Las coordenadas son 28° 42' 20" S y 69° 35' 20" O.

La propietaria es Minera Macho Muerto, que realizó muestreo de superficie y al menos cuatro perforaciones.

Geología del depósito

El prospecto se encuentra en la intersección de la falla de rumbo Los Mogotes y la falla directa Río del Inca (fig. 38); una falla local de dirección N-S limita la zona de alteración por el oeste.

El basamento del área son las volcanitas ácidas del Grupo Choiyoi. Sobre ellas y en discordancia se apoyan brechas y coladas andesíticas y dacíticas pertenecientes a la Unidad Doña Ana, dispuestas con suave inclinación hacia el SE. Un pórfiro de composición riolítica-riodacítica intruye y altera al conjunto.

Panteleyev y Cravero (2001) describieron Cerro Amarillo como un domo intrusivo cuarzo-feldespático, similar al de Cerro Rico de Potosí, Bolivia. Parte del caparazón de este domo está autobrechado, constituyendo, según estos autores, un típico domo de flujo complejo.

En la cúpula del cerro afloran el pórfiro y las autobrechas originales, transformadas por alteración ácida en una litocapa de cuarzo-alunita, con sectores conteniendo pirofilita, dickita y diásporo. Aparecen baritina y yeso rellenando fisuras y oquedades. Investigaciones del SEGEMAR, en 1995, observaron en este sector central escasa pirita y azufre nativo.

El encajante andesítico próximo al pórfiro muestra fuerte alteración arcillosa, principalmente illita, que grada hacia afuera a illita-esmectita y

esmectita. Este halo arcilloso, que se extiende más de 100 m en sentido vertical y horizontal, hospeda diques (o filones capa) riolíticos flanqueados por brechas o fajas de 5-10 m de espesor con sílice-alunita-caolinita ± jarosita. Más externamente, en la base del cerro, aparece alteración propilítica (epidoto-clorita); también se observaron brechas y fajas silicificadas, con guías de yeso rellenando fisuras.

La edad de la alteración según JICA-MMAJ (1999a) es $23,1 \pm 0,6$ Ma (límite Oligoceno-Mioceno).

Una perforación ubicada en la base oriental del cerro, a escasos metros del río Los Mogotes, alcanzó 80 m de profundidad en pórfiro riolítico y andesítico con pirita, alumbrando mineralización con muy bajo contenido en Cu (34 ppm), Au (26 ppb) y Mo (15 ppm).

En la base del faldeo opuesto, un cuerpo dacítico intruyó dacitas y andesitas, produciendo silicificación y sericitización en los bancos de brechas y tobas, junto a suave argilización y alunitización. Próximo a este cuerpo yace un sistema de siete vetas paralelas de cuarzo-alunita-yeso, con abundante goethita y menor cantidad de jarosita, escorodita, pirita y óxidos de manganeso. Conocidas como antiguas vetas de cobre, son las únicas manifestaciones metalíferas del área, y habrían sido investigadas mediante perforaciones. Los análisis químicos indican contenidos de 17 a 226 ppb Au y 25 a 820 ppm Cu.

Imágenes satelitales JERS-1 (La Puntilla – AA6056) muestran una notable zona de alteración arcillosa y limonítica, cuyo eje mayor alcanza 2,5 kilómetros.



Figura 38. Alteración en el área Filo Amarillo

Modelo genético

Cerro Amarillo es un prospecto cuyas características permitirían adscribirlo a un modelo epitermal de alta sulfuración.

10. Área Bordo Atravesado

Generalidades

Se ubica al sur del área del prospecto Cerro Amarillo, en la margen derecha del río del Inca, a 4.500 m sobre el nivel del mar. Las condiciones de acceso son similares a las de Cerro Amarillo. Una huella minera abierta por Minera Macho Muerto, empresa propietaria, permite recorrer el área de alteración. Las coordenadas de su ubicación son 28° 42' 42" S y 69° 35' 04" O.

Geología del depósito

Bordo Atravesado es un área de alteración con forma trapezoidal de 3,2 km de largo en sentido N-S, 2 km de ancho en el norte y 0,6 km de ancho en su extremo sur, ubicada sobre la escarpa de una falla regional N-S. Afloran andesitas, dacitas y riolitas del Grupo Choiyoi intruidas por pequeños cuerpos dioríticos, monzoníticos y de pórfiro riolítico. En el borde oriental una fractura N-S pone en contacto a las volcanitas permo-triásicas con coladas y brechas andesíticas terciarias, pertenecientes a la Unidad Doña Ana. Dos sectores de intensa silicificación y suave sericitización-alunitización han sido delimitados en la parte central y el extremo norte del área. El primero, de 1.400 x 540 m, fue investigado mediante cuatro perforaciones con aire reverso de longitud entre 130 y 153 m ubicadas en sus bordes, una de las cuales cortó mineralización de cobre constituida por calcopirita y calcosina; las leyes máximas obtenidas, también de este sondeo, son 105 ppb Au y 1.330 ppm Cu. El sector norte, de 700 x 180 m, sólo fue explorado mediante muestreo geoquímico de superficie. En ambos sectores la sílice se presenta como vetas, *stockworks*, cuerpos masivos y reemplazo de matriz rocosa. En el extremo norte en el relieve sobresalen crestones de dirección N 30° E y 10 a 15 m de ancho, formados por una brecha silícea cementada por cuarzo de baja temperatura en geodas.

Según JICA-MMAJ (1999b), vetas con limonitas que se hallan alrededor de una de las zonas silicificadas han dado valores de 0,4 g/t Au. En el mismo trabajo se informa sobre el resultado

del muestreo realizado (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Mo) (cuadros 18 y 19):

Las imágenes satelitales indican una zona de notable alteración arcillosa y limonítica de 1,5 km de diámetro, situada al sur de una falla de alto ángulo. La zonalidad de alteración por JERS-1 se manifiesta como una mezcla de caolinita y alunita.

Petrografía y alteración hidrotermal

Los estudios petrográficos se realizaron en ignimbritas, brechas y riolitas del Grupo Choiyoi.

Las **ignimbritas** tienen color gris pardo oscuro, con "motas" blanquecinas de algunos milímetros de diámetro en una base afanítica.

Al microscopio, se identifican una fracción cristalina y otra lítica. La fracción cristalina consiste en fragmentos de *cuarzo*, *plagioclasa* parcialmente alterada y *biotita* desferrizada. La fracción lítica está representada por riolitas de pasta esferulítica y mosaicos finos de sílice. En general, en ambas fracciones se observa que algunos cristaloclastos y litoclastos son angulosos, mientras que otros son aplanados y siguen líneas de fluidalidad y *fiammes*. La matriz es hialina fluidal, con bandas de diversa cristalinidad que siguen líneas sinuosas contorneando los clastos; se encuentra parcialmente argilizada.

Mediante el método de reflectancia SWIR se detectó una mezcla semicuantitativa de caolinita e illita (relación 80%/20%). La caolinita se forma a temperaturas típicamente en el rango <150-200°C y pH entre 4 y 5. En cuanto a la illita, es indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

Las **brechas riolíticas** tienen coloración pardusca, con pequeñas manchas limoníticas de distribución aleatoria. En muestra de mano tiene una textura de aspecto porfírico, con fenocristales de feldespato blanquecino y minerales máficos oscuros en pasta afanítica.

Al microscopio se observa una textura brechosa, con fragmentos líticos angulosos de diámetro muy variado, de naturaleza riolítica. En las riolitas se reconocen fenocristales de plagioclasa sericitizada en forma parcial a total y escaso cuarzo, en una pasta microgranofírica constituida por un mosaico de finos intercrecimientos equidimensionales de cuarzo y feldespato potásico. La matriz se halla en escasa proporción; es irreconocible debido a su impregnación con material arcilloso y óxidos de hierro. Estos últimos también reemplazan posibles

minerales máficos y mineral opaco.

Los estudios de arcillas revelaron una mezcla semicuantitativa de illita y caolinita (relación 80%/20%). La caolinita se forma a temperaturas típicamente en el rango <150-200°C y pH entre 4 y 5. En cuanto a la illita, es indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

En cuanto a las **riolitas**, son rocas de color castaño claro, con pátinas limoníticas ocre; la textura tiene aspecto porfírico, dado por cristales pequeños blanquecinos en una pasta gris parda. Se encuentran cortadas por venillas blanquecinas.

El estudio al microscopio permite identificar una textura porfírica, enmascarada en gran parte por la alteración sericítico-arcillosa. Los **fenocristales** son de *plagioclasa* reemplazada totalmente por sericita y material arcilloso, *cuarzo* en individuos pequeños de bordes festoneados, y posibles *minerales máficos* reemplazados por sericita gruesa, óxidos de hierro y jarosita. La **pasta** está compuesta por mosaicos de cuarzo intercrecido granofricamente con feldespato potásico reemplazado por material arcilloso. Se

observa sericita intersticial, y con frecuencia hay núcleos y venillas de jarosita.

La arcilla fue determinada como illita, en mezcla semicuantitativa con jarosita (relación 70%/30%). La illita es indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La jarosita tiene origen supergénico.

En casos, las riolitas están silicificadas y brechadas. En este caso, el color es castaño amarillento. La estructura es brechosa, con clastos grises redondeados en una matriz impregnada por limonitas amarillas.

La textura al microscopio es brechosa, y consiste en **fragmentos líticos** redondeados de tamaño no superior a un milímetro. Estos fragmentos son de una roca porfírica ácida, destacándose fenocristales de cuarzo muy corroídos y concentraciones de sericita en una pasta formada por un mosaico fino de cuarzo y sericita intersticial (riolitas). La **matriz** está constituida por los mismos componentes más finamente divididos y cementados por abundante jarosita.

La arcilla es illita, en mezcla semicuantitativa con jarosita (relación 80%/20%). La illita es

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY369	<5	<0,2	7	6	28	8	1
ATH447	<5	<0,2	49	78	68	10	1
ATH448	<5	0,6	23	60	8	6	<1
AKY370	160	0,2	326	28	10	8	<1
ASM391	20	<0,2	5	18	<2	22	2
ATH449	30	<0,2	130	8	2	20	1
ATH251	1	0,2	1	10	54	12	<1
ATH252	265	1,8	15	62	6	90	1
ATH253	2	0,8	14	14	8	20	11
ATH254	10	0,6	142	8	16	14	<1
ATH255	2	0,2	135	<2	<2	20	5
ATH256	12	0,2	29	14	<2	84	3
ATH257	40	1,6	960	20	28	20	6

Cuadro 18. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Bordo Atravesado)

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_%	Zn_ppm	Mo_ppm
ASM221	<5	<1	30	0,002	20	<10
ASM222	405	1	810	0,004	60	10
ASM224a	10	<1	10	<0,001	<20	<10

Cuadro 19. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Bordo Atravesado)

indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La jarosita tiene origen supergénico.

11. Área Cordón del Inca

Generalidades

Se sitúa en la margen derecha del río Macho Muerto (fig. 39), 15 km al oeste de la mina Margarita y 12 km al naciente del campamento de Bordo Atravesado. El tiempo de marcha en vehículos de doble tracción es de 45' desde la mina Margarita y 20' desde el campamento mencionado.

La altitud aproximada es de 4.300 m sobre el nivel del mar. Las coordenadas son 28° 41' 42" S y 69° 28' 26" O.

El área Cordón del Inca fue descubierta por geólogos de JICA, guiados por la interpretación de imágenes satelitales de la región.

Geología del depósito

El prospecto se encuentra montado en la escarpa de la falla E-O que limita el cordón del Inca por el norte, en la intersección de ésta con una estructura NNE sobre la cual se alinea, 2 km al sur, una segunda área de alteración no reconocida. En la cresta del área las volcanitas se hallan fuertemente silicificadas y contienen filones y *stockworks* de cuarzo. Por debajo de ellas se extiende una zona de intensa alteración arcillosa avanzada, corroborada por la asociación pirofilita-baritina-diásporo. Abundante alunita reemplaza feldespatos en rodados de riolita. La edad de la alteración es de $20,6 \pm 2$ millones de años. Análisis de vetas de cuarzo-limonita indican

tenores de 0,37 ppm Au, 65 ppm Cu, 324 ppm Pb y 204 ppm Zn; y en vetas de pirita-turmalina-cuarzo contenidos de 0,17 ppm Au, 64 ppm Cu, 324 ppm Pb y 184 ppm Zn. Existe asimismo un contenido relativamente alto (13 ppm) de Se.

El informe de JICA-MMAJ (1999b) resume los resultados de muestreo en el Cuadro 20.

Según JICA-MMAJ (1999b), tanto Río de la Flecha como Cordón del Inca se caracterizan por la presencia de rocas silicificadas con alunita hipogénica y cuarzo *vuggy*; con frecuencia se asocia azufre nativo, así como gran cantidad de yeso supergénico. Estas zonas de alteración ácida están rodeadas por alteración arcillosa constituida por sericita o sericita-esmectita. El desarrollo de las zonas arcillosas se relaciona con la permeabilidad de las rocas de caja, siendo mayor cuando se trata de rocas piroclásticas. Casi en el borde externo de ellas aparece propilitización. Esta zonalidad es característica de los sistemas epitermales de alta sulfuración.

12. Área Pastos Largos

Generalidades

Se ubica en el faldeo oriental del cordón de la Brea, borde oeste del valle del río Blanco, a 4.100 m sobre el nivel del mar. Se accede con vehículos doble tracción partiendo desde el campamento de la mina Margarita, en una travesía de aproximadamente dos horas de duración. Los trabajos son posibles en el período de noviembre a abril.

El área es una de las anomalías detectadas por



Figura 39. Vista de la alteración en Cordón del Inca

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY372	25	<0,2	4	14	2	28	8
AKY373	100	<0,2	2	14	2	292	5
ASM392	<5	<0,2	2	194	2	10	4
ASM393	<5	<0,2	8	6	<2	20	4
ASM394	<5	<0,2	4	6	6	8	1
ASM395	<5	<0,2	19	8	4	82	<1
ATH451	15	0,2	22	46	4	16	<1
ATH452	5	0,8	17	22	<2	12	3
ATH453	<5	<0,2	5	2	<2	102	3
ATH454	<5	0,2	4	12	<2	8	3

Cuadro 20. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Cordón del Inca)

Norwest Mine Services Inc. en 1992, de la cual se ha investigado su extremo austral, localizada por las coordenadas 28° 31' 01" S y 69° 12' 39" O.

Los derechos mineros pertenecen a la empresa Crown Resources, que sólo habría realizado prospección geoquímica.

Geología del depósito

Afloran cuarcitas y areniscas de la Formación Ranchillos dispuestas con rumbo N 5° O, inclinadas 35° al E, intruidas y metamorizadas por granitos rosados de grano mediano a fino afectados por intensa fracturación y brechamiento. En discordancia sobre los sedimentos se apoyan dacitas de posible edad terciaria con moderada alteración cuarzo-sericítica.

La fracturación principal, de rumbo N 20°-40° E, ha guiado el emplazamiento en el granito y su encajante de fajas silicificadas, vetas de cuarzo y calcita, brechas cementadas

por sílice o baritina, y diques de aplita, pórfiro riolítico, basandesita y lamprófito, estos últimos propilitizados. Una veta de cuarzo en granito, de 1,2 m de potencia, flanqueada por venillas de cuarzo y calcita, contiene cristales aislados de calcopirita y pirita. Un análisis realizado en el marco del programa PASMA sobre esquirlas de brecha silicificada indica contenidos de 3 ppb Au y 294 ppm As. Análisis geoquímicos de venas de cuarzo y brechas silicificadas, realizados por JICA-MMAJ (1999b), dieron valores máximos de 20 ppb Au, 0,4% Cu y 0,15% Pb. En el Cuadro 21 se presentan los resultados del muestreo realizado.

Los diques de pórfiro riolítico se caracterizan por contener cristales de cuarzo ahumado bipiramidal; han sido encontrados en las áreas Ranchillos y Cajón de la Brea y datados por el método K/Ar en 52 Ma (Eoceno inferior). Se los considera, con reservas, relacionados a la silicificación y mineralización.

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY354	<5	1,2	9	26	34	12	<1
AKY355	<5	<0,2	4	14	140	6	<1
AKY356	20	1,2	4.130	166	68	60	25
ASM374	<5	0,4	4	60	<2	4	<1
ASM375	<5	<0,2	529	18	102	34	1
ASM376	<5	0,4	16	88	34	6	<1
ASM377	<5	<0,2	102	10	34	10	1
ASM378	20	1,0	253	1.460	208	64	17
ATH420	<5	0,4	26	94	544	8	<1
ATH421	<5	1,8	1.815	140	50	12	1

Cuadro 21. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Pastos Largos)

Petrografía y alteración hidrotermal

Los **granitos** son rocas de color castaño rosado claro y textura equigranular mediana. Al microscopio se observa una textura granosa subhipidiomorfa. Los componentes esenciales están representados por *cuarzo*, *feldespato potásico* (ortosa) con avanzada argilización, *plagioclasa* subordinada con avanzada sericitización y escasa *biotita* totalmente desferriada. Existe un pasaje local a textura gráfica, dado por intercrecimiento de cuarzo y feldespato potásico.

Se observaron venillas de calcita de 2 cm de espesor, mineral que se detectó con el método de espectrometría de reflectancia SWIR; asimismo, la arcilla determinada por este método es illita-esmectita, indicadora de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

Las **dacitas** de posible edad terciaria que están afectadas por alteración cuarzo-sericitica en sectores han sido modificadas a tal punto que resulta imposible observar la textura original. Son rocas gris claro de grano fino y homogéneo; al microscopio se observan granos redondeados de *cuarzo*, de bordes irregulares por interpenetración con sericita, asociado a laminillas de este mineral, el que también forma grupos de individuos mayores asociados a material arcilloso, mineral opaco, rutilo y esporádicos individuos y agregados de turmalina.

Por el método de espectrometría de reflectancia SWIR se determinó moscovita de alta cristalinidad; este mineral se forma en pH 5 a 6 a temperaturas sobre 250°C e inferiores a 450°C (Townley, 2000).

La presencia de turmalina indica un evento de mayor temperatura.

Los **lamprófiros**, así denominados por la abundancia de minerales máficos, tienen color gris verdoso oscuro y textura porfírica, con pequeños fenocristales blanquecinos en pasta afanítica. Al microscopio, la textura porfírica está dada por fenocristales de minerales máficos abundantes, posiblemente *piroxeno* y/u *hornblenda*, reemplazados en forma total por una asociación de grano de buen desarrollo de clorita (penninita), carbonato, epidoto y titanita, producto de alteración propilítica; acompañan fenocristales de *labradorita* alterada en forma moderada en

carbonato, sericita, epidoto y escasa clorita. La pasta es intersertal, y está afectada por alteración propilítica; se compone de tablillas de plagioclasa localmente orientadas, entre las que se disponen abundante clorita y mineral opaco, este último en notable cantidad.

La alteración propilítica indica pH neutro a alcalino y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

13. Área Ranchillos (Quebrada de los Ranchillos)

Generalidades

Se ubica en el faldeo oriental del cordón de la Brea, 5 km al sur de Pastos Largos y 14 km al norte del campamento de la mina Margarita, entre 4.100 y 4.400 m sobre el nivel del mar. Una huella precaria que parte del campamento de la mina Margarita permite el acceso al área, en vehículos doble tracción, tras aproximadamente una hora de marcha. Las coordenadas del centro del área son 28° 31' 00" S y 69° 12' 20" O.

Los derechos mineros pertenecían a la empresa Crown Resources, que realizó una investigación basada en mapeo geológico y muestreo geoquímico. La Compañía Minera Solitario Argentina SA adquirió los derechos y realizó cuatro perforaciones.

Geología del depósito

Afloran areniscas y cuarcitas de la Formación Ranchillos intruidas por un granito triásico que produjo una aureola metamórfica de contacto. Los *hornfels* desarrollados muestran alteración sericitica pervasiva y fuerte fracturación; las fisuras están rellenas por escaso cuarzo y carbonato y abundantes limonitas anaranjadas y goethita. El granito y los *hornfels* han sido afectados por silicificación y turmalinización, alteración de alta temperatura que se manifiesta en forma de filones pegmatíticos, vetas de cuarzo-turmalina y pequeños cristales de turmalina en fisuras. Diques de granito y monzonita con alteración sericitico-arcillosa se hospedan en las sedimentitas y en el granito. Diques riolíticos terciarios, no alterados, cortan las demás litologías.

Rode y Carrizo (2007) mencionaron que la presencia de diques andesíticos podría estar relacionada con la mineralización.

Muestras analizadas por JICA-MMAJ (1999b), extraídas de venillas de cuarzo, cuarzo-

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY352b	10	2,0	39	14	162	1.890	1
AKY352c	50	0,8	35	16	124	792	1
AKY353b	45	0,2	4	10	8	1.000	1
ASM370	95	<0,2	34	44	410	1.690	<1
ASM371	60	<0,2	35	20	156	64	<1
ASM373	15	<0,2	141	10	164	1.845	<1
ATH413	65	<0,2	85	20	36	450	3

Cuadro 22. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Ranchillos)

limonitas y cuarzo-turmalina alojadas en granito y *hornfels*, dieron valores máximos de 95 ppb Au y 0,19 % As. Los resultados del muestreo se muestran en el Cuadro 22.

Las imágenes satelitales muestran tres áreas de intrusivos acompañados por alteración arcillosa, situados al oeste de un lineamiento NNE. La alteración por JERS-1 indica que se trata principalmente de sericitización.

JICA-MMAJ (1999b) descartó una relación petrogenética entre la alteración de alta temperatura (sílice-turmalina) y la mineralización. Panteleyev y Cravero (2001) consideraron que la mineralización aurífera está asociada a los diques de pórfiro riolítico eocenos.

14. Mina Margarita

Generalidades

Se ubica en las nacientes del arroyo Cajón de la Brea, a 4.250 m sobre el nivel del mar. El acceso es posible (excepto en invierno) por ruta desde la localidad de Jagüé, luego de 3 a 4 horas de marcha en vehículos doble tracción. Las coordenadas son 28° 40' 08" S y 69° 20' 51" O.

Pertenece a la empresa Minera Macho Muerto y fue antiguamente explotada por cobre. Posee un campamento minero con comodidades

de alojamiento para 30 a 40 personas y aguas termales.

Geología del depósito

En el área afloran areniscas, cuarcitas y fangolitas de la Formación Ranchillos, dispuestas con rumbo E-O e inclinación 40° S. Una brecha intrusiva, filones y venas de turmalina negra cortan y reemplazan a los sedimentos carboníferos. Venillas de cuarzo y cuarzo-turmalina cortan a su vez a la turmalina masiva. La mineralización se aloja en la brecha; está compuesta por calcopirita, calcosina, pirita, pirrotina, crisocola, malaquita, cuprita y atacamita, con ganga de cuarzo, turmalina y baritina. Debido a la erosión, oxidación y lixiviación de los sulfuros primarios, se produjeron en profundidad concentraciones de minerales oxidados de cobre que fueron extraídas mediante galerías y beneficiadas por lixiviación natural (cobre cemento). Hay indicios de ensayos de lixiviación ácida en pilas.

El muestreo realizado por JICA-MMAJ (1999b) dio los resultados sintetizados en el Cuadro 23.

Modelo genético

El modelo genético posible es el de chimenea de brecha, modelo 14 g, según la clasificación de modelos de depósitos de Argentina (Zappettini, 1999).

Identificación	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY357	70	1,4	3.070	58	36	1.565	390
AKY358	<5	<0,2	45.100	32	58	594	438
ASM379	<5	<0,2	5	4	6	14	3
ATH424	<5	<0,2	48.200	26	40	484	366
ATH456	<5	<0,2	8	10	54	24	<1

Cuadro 23. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Margarita)

15. Área Cajón de la Brea

Generalidades

Se ubica 2,5 km al sudoeste de la mina Margarita, en la cresta del cordón de la Brea, a 4.600 m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 28° 41' 08" S y 69° 22' 10" O.

La propietaria es la empresa Minera Macho Muerto.

Geología del depósito

Es un área de alteración arcillosa con silicificación y fuerte limonitización (fig. 40), de aproximadamente 500 m de diámetro.

Afloran riolitas triásicas del Grupo Choiyoi, inclinadas al oeste, cortadas por diques de pórfiro riolítico, con cristales de cuarzo ahumado bipiramidal, de edad eocena. Uno de estos diques, de 8 m de ancho y 300 m de corrida con rumbo N 30° E, está flanqueado por un *stockwork* de 45 m de largo formado por venillas de cuarzo de 0,1 a 3 cm de espesor. Venillas de calcedonia y limonitas rellenan fisuras del cuerpo filoniano. Análisis del SEGEMAR realizados en 1995 dieron valores de 0,10 ppm Au en venillas del *stockwork*, mientras que análisis de JICA-MMAJ (1999b) detectaron 10 ppb Au y 466 ppm As en venillas alojadas en el pórfiro riolítico.

16. Área Carnerito

Generalidades

Se ubica en el faldeo oeste del río Carnerito, en el extremo norte del cordón de la Brea, entre

4.100 y 4.200 m sobre el nivel del mar. Se accede desde el norte, bordeando el río mencionado con cuatriciclos y/o vehículos de doble tracción. Las coordenadas del centro del área son 28° 27' S y 69° 15' O.

Fue explorada por la empresa Minera Eldorado SA en 1996, mediante muestreo geoquímico de suelos y roca.

Geología del depósito

Se trata de un área de 3 km de largo y 1,2 km de ancho, delimitada por dos fallas de rumbo NNE-SSO. Afloran *hornfels* oscuros de grano fino de la Formación Ranchillos intruidos por granitos y granodioritas de la Formación Carnerito. Una delgada colada de dacitas y andesitas terciarias cubre parcialmente al basamento. Un *stock* dacítico aflora en el límite sur de la zona alterada. Los *hornfels* están cortados por diques de pórfiro diorítico y fajas de silicificación orientados N 60° O. Los granitoides muestran alteración propilítica (clorita-epidoto) y hospedan finas venillas de cuarzo prismático y "ojos" o lentes de cuarzo-turmalina. Las volcanitas han sido afectadas por moderada alteración sericítico-arcillosa, acompañada por escasas guías de cuarzo y por abundante jarosita y hematita derivadas de la lixiviación de pirita. La empresa Norwest mencionó alunita en riolitas alteradas.

Rode y Carrizo (2007) señalaron que el área presenta un fuerte control estructural de rumbo N 70-80° O y sugirieron la presencia de la parte superior de un sistema porfirico o transicional a uno epitermal.

Los análisis químicos de 10 muestras tomadas



Figura 40. Vista de la alteración de Cajón de la Brea

por la empresa Minera Eldorado SA muestran contenidos de 0,02 a 0,03 g/t Au en riolita silicificada, venas de cuarzo, andesita alterada y roca alterada a cuarzo-sericita-alunita.

Dos kilómetros al norte del área, en el filo divisorio de aguas, se encontró un *sinter* síliceo de 100 m de diámetro.

La imagen de alteración JERS-1 detectó alteración sericítico-arcillosa cortada por estrechas fajas de silicificación NO-SE. Más al norte, el *sinter* aparece como una pequeña zona de posible alteración sílice-alunita.

Petrografía y alteración hidrotermal

Las **granodioritas** de la Formación Carnerito son rocas de color castaño rosado claro y textura equigranular mediana. Se observa cuarzo blanquecino, feldespato rosado y un mineral verdoso. En casos están surcadas por venillas de cuarzo.

Al microscopio, la textura es granosa subhipidiomorfa. Se identifican *cuarzo*, *oligoclasa* finamente maclada con alteración moderada a fuerte a sericita, material arcilloso, epidoto y clorita, *feldespato potásico* con alteración caolínica, y *biotita* totalmente reemplazada por clorita y epidoto.

Las venillas advertidas en muestra de mano contienen cuarzo prismático, con sus cavidades ocupadas por una fina asociación de cuarzo-clorita.

Los estudios mineralógicos de arcillas indican la presencia de illita en mezcla semicuantitativa con clorita férrica (relación 50%/50%). La illita se forma en condiciones de pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 200 y 250°C (Townley, 2000). La clorita tiene composición férrica heredada de la biotita original, y se interpreta como parte de la asociación de alteración sericítica.

Como variedad litológica dentro de la Formación Carnerito hay **granitos micrográficos**. Se trata de rocas equigranulares de grano mediano, con variaciones locales a grano más fino, compactas y coherentes, de color rosa castaño claro; se observa a simple vista cuarzo, feldespato rosado y pequeñas hojuelas verdosas de mineral micáceo. En algunos sectores se encuentran individuos de epidoto.

Al microscopio, la textura es micrográfica bien desarrollada, localmente granosa. Entre los componentes esenciales se identifican *cuarzo*, *feldespato potásico* (ortosa), *plagioclasa* subordinada y escasa *biotita*. Cuarzo y feldespato

potásico están íntimamente intercrecidos dando la textura gráfica, a veces con individuos centrales de feldespato. La biotita forma pequeñas escamas totalmente cloritizadas. La ortosa se encuentra alterada a arcillas y la plagioclasa a sericita, ambas en grado moderado a intenso.

La arcilla se determinó como illita-esmectita, asociada a muy escasa jarosita; esta arcilla indica pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

Las rocas terciarias comprenden dacitas-riodacitas y andesitas.

Las **dacitas-riodacitas** son rocas de color gris, con superficies de meteorización castaño rojizas. Tienen textura porfírica, con fenocristales blanquecinos que raramente superan los 2 mm de longitud y de minerales máficos de desarrollo algo mayor; la pasta es afanítica.

En el estudio petrográfico al microscopio, se observa una textura porfírica de pasta felsítica localmente fluidal. Los fenocristales son de *cuarzo*, *andesina sódica* enturbiada por alteración moderada a material arcilloso, sericita subordinada y epidoto, *biotita* transformada en clorita con bordes de óxidos de hierro, y *anfíbol* reemplazado por un agregado de óxidos de hierro semiopacos. También se observaron posibles fenocristales de buen desarrollo reemplazados por un agregado de epidoto, clinzoisita, clorita y un mineral fibroso radiado (ceolita?). La pasta felsítica consiste en un agregado microcristalino que polariza débilmente la luz, que en algunos sectores es esferulítico y en otros fluidal. Contiene abundantes gránulos de óxidos de hierro.

Como mineral accesorio se encuentran pequeños prismas de posible allanita distribuidos aleatoriamente.

La arcilla se determinó como illita-esmectita, asociada a muy escasa jarosita; esta arcilla indica pH entre 5 y 6 y temperaturas entre 100 y 200°C (Townley, 2000).

Las **andesitas** tienen color gris castaño, con fenocristales pequeños de feldespato y más abundantes de minerales máficos. Al microscopio se observa una textura porfírica localmente glomeroporfírica. Los fenocristales son de *andesina* en casos con zonalidad normal, y *hornblenda basáltica* de desarrollo algo mayor que la plagioclasa, que a veces presenta un núcleo de piroxeno. La pasta muestra textura hialopilitica, con microlitos de plagioclasa, más escasa hornblenda y gránulos de minerales opacos

en una mesostasis vítrea intersticial.

Se observa carbonato como relleno de diminutos alvéolos.

Una variedad de andesitas tiene color gris violáceo y textura porfírica, con fenocristales blancos de feldespato y oscuros de minerales máficos, en una pasta afanítica pardo violáceo oscura.

En el estudio al microscopio se advierte una textura porfírica, que denota efectos explosivos sin ser piroclástica. Entre los fenocristales, en gran proporción fracturados, se hallan *cuarzo*, *andesina básica* alterada fuertemente a material arcilloso y clinozoisita, *biotita* reabsorbida, *hornblenda* verde a veces alterada, *pigeonita* generalmente inalterada, y *olivina* alterada totalmente en óxidos de hierro, clorita y serpentina. La pasta está desvitrificada y teñida fuertemente por óxidos de hierro; en parte conserva su fluidalidad como líneas sinuosas en torno a fenocristales.

Los diques de **pórfiro diorítico cuarcífero** son de color gris oscuro y grano fino; se destacan algunos cristales de mayor desarrollo, de pocos milímetros de diámetro.

Al microscopio se ve una textura porfírica. Se observan fenocristales de *andesina ácida*, algunos con zonalidad, alteración arcilloso-sericítica incipiente a moderada e inclusiones de hornblenda y biotita, *hornblenda* verde generalmente en cúmulos sola o asociada con biotita, y *biotita* castaño oscura levemente cloritizada de desarrollo algo menor que hornblenda. La pasta es granosa fina a mediana, formada por plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita; el cuarzo supera el 5% y muestra algunos granos mayores que no llegan a constituir fenocristales.

17. Área Laguna de los Huaycos

Generalidades

Se localiza en el borde occidental del cordón de la Brea, 2 km al norte de la laguna de los Huaycos, a 4.050 m sobre el nivel del mar. Dista 12 km del campamento de la mina Margarita, desde el cual se accede en aproximadamente 30 minutos. Las coordenadas del área son 28° 34' 03" S y 69° 22' 07" O.

Los derechos mineros pertenecen a la empresa Minera Macho Muerto. No hay evidencias de muestreo ni labores de exploración. El área es una de las anomalías detectadas por la empresa Norwest en 1992.

Geología del depósito

Afloran areniscas y cuarcitas de la Formación Ranchillos intruidas por granodioritas y pórfiros riolíticos de la Formación Carnerito. Apoyadas en discordancia sobre los sedimentos, yacen riolitas e ignimbritas del Grupo Choyoi y, montadas sobre ellas por una falla N 28° E de inclinación 80° E, una estrecha faja de tobas y coladas de dacitas de edad incierta dispuestas con rumbo N-S e inclinación 30° O. Una falla inversa de alto ángulo, de rumbo NNE-SSO, limita a las ignimbritas por el oeste y las pone en contacto con sedimentos fluviales pleistocenos. La falla NE-SO que separa a dacitas al este de ignimbritas al oeste es paralela al importante lineamiento de esa dirección que se extiende desde la laguna de los Huaycos por el sur hasta el río Blanco por el norte, limitando el costado oriental del área Carnerito.

La fracturación NE-SO afectó especialmente a las ignimbritas, que hospedan filones de cuarzo de decenas de metros de longitud, sílice *vuggy* y venas o lentes de cuarzo-alunita ± caolinita. En las dacitas hay bancos de tobas con intensa alteración sericítica y venillas de cuarzo de 1-2 cm de espesor.

Una muestra de sílice *vuggy* en riolita dió valores de 20 ppb Au y 692 ppm As, repitiendo la asociación Au-As observada en Ranchillos y Cajón de la Brea. El muestreo llevado a cabo por JICA-MMAJ (1999b) indicó los siguientes resultados presentados en el Cuadro 24.

Aunque este prospecto por sus características geológicas y respuesta geoquímica podría pertenecer a la Faja Ranchillos, la alteración está vinculada a la fracturación NE-SO, típica de la tectónica terciaria. Es probable entonces que las soluciones hidrotermales provengan de intrusivos terciarios emplazados en la fractura NE-SO o en la gran estructura NNE-SSO que permitió el ascenso en bloque del cordón de la Brea.

18. Área Barreales de Ranchillos

Generalidades

Se ubica en el cauce y las barrancas del río Blanco, 11 km al ESE de la mina Margarita, a 3.550 m sobre el nivel del mar. Desde el campamento de la mina se emplean aproximadamente 30 minutos para acceder al borde occidental del área. Las coordenadas son 28° 41' 38" S y 69° 12' 29" O.

Corresponde a una de las anomalías identificadas por la empresa Norwest.

Muestra	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Mo_ppm
AKY354	<5	1,2	9	26	34	12	<1
AKY355	<5	<0,2	4	14	140	6	<1
AKY356	20	1,2	4.130	166	68	60	25
ASM374	<5	0,4	4	60	<2	4	<1
ASM375	<5	<0,2	529	18	102	34	1
ASM376	<5	0,4	16	88	34	6	<1
ASM377	<5	<0,2	102	10	34	10	1
ASM378	20	1,0	253	1.460	208	64	17
ATH420	<5	0,4	26	94	544	8	<1
ATH421	<5	1,8	1.815	140	50	12	1

Cuadro 24. Valores de oro, plata, cobre, plomo, cinc, arsénico y molibdeno (JICA-MMAJ, 1999b). (Laguna de los Huaycos)

Geología del depósito

Afloran areniscas, cuarcitas y limolitas de la Formación Ranchillos afectadas por fallas de empuje N-S y NO-SE, y localmente plegadas. Filones capa de andesita y traquiandesita se intercalan y alteran los sedimentos. En discordancia erosiva sobre ellos se apoyan tobas andesíticas de la Formación Veladero y depósitos pedemontanos pleistocenos que cubren toda el área, limitando la observación a los cauces y barrancas del río Blanco y tributarios menores.

El río Blanco discurre sobre una zona de falla de rumbo N 100° e inclinación 60° O, que ha producido intensa fracturación. En la intersección de esta estructura con una complementaria de rumbo N 45° O e inclinación 70° SO, bancos de cuarcitas se transformaron en

una brecha tectónica (fig. 41) cementada por venas de calcita-baritina-hematita de color rojo-anaranjado, con estructura en peine, y cristales de cuarzo en la parte central. Finas guías de cuarzo microcristalino rellenan fisuras en clastos de la brecha. Esta estructura tiene forma de una faja de 20 m de ancho y más de 300 m de corrida, de tonalidad rojiza, flanqueada por filones capa de andesita con venas de baritina y piritita diseminada, y areniscas micáceas amarillentas y rosadas por presencia de limonitas y óxidos de hierro.

Una muestra de suelo en la desembocadura de un arroyo tributario dio 0,17 g/t Au. Dos muestras de venillas de la faja brechada, analizadas en el marco del proyecto PASMA, indican contenido de hasta 3% Ba.



Figura 41. Barreales de Ranchillos. Brecha tectónica (B)

Petrografía y alteración hidrotermal

Las **andesitas** son rocas gris oscuras, de textura porfírica, con fenocristales de pocos milímetros de longitud y pasta de grano mediano.

Al microscopio se observa una textura porfírica. Los fenocristales son de *oligo-andesina* con alteración moderada a sericita, caolinita y carbonato, y de *minerales máficos* no determinables. La pasta está formada por tablillas de plagioclasa sin orientación en una base clorítico-carbonática con abundantes gránulos de mineral opaco. Existe reemplazo parcial de la roca por cúmulos de clorita fibroso-radiada; también hay venillas de carbonato.

A las traquiandesitas se les dio esta denominación debido a su color gris pardusco. Se destacan fenocristales claros de hasta 2 mm de longitud en una pasta afanítica gris verdosa.

Al microscopio, la textura es porfírica, en parte obliterada por alteración. Los fenocristales corresponden a un posible *feldespato* (plagioclasa?) sustituido totalmente por una asociación de grano de buen desarrollo de carbonato, clorita y cuarzo; algunos individuos de hábito prismático reemplazados por clorita asociada a carbonato podrían representar a un *mineral máfico*. La pasta muestra textura afieltrada, con microlitos de feldespato (plagioclasa sericitizada y potásico?; de estar presente, este último mineral en la pasta permitiría la denominación de traquiandesita) y de minerales máficos reemplazados por óxidos de hierro, intercrecidos sin orientación y encerrando cuarzo en sus intersticios. Agregados de carbonato, clorita y óxidos enmascaran parcialmente a la pasta.

Los estudios mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR revelan una mezcla semicuantitativa de minerales portadores de magnesio: dolomita y clorita magnesiánica, con muy escasa illita (relación 50%/40%/10%).

La alteración propilítica moderada a fuerte que afecta a estos dos tipos litológicos indica condiciones de pH neutro a alcalino y rangos de temperatura entre 200 y 250°C (Townley, 2000).

La **brecha tectónica** es de color gris oscuro; muestra clastos afaníticos y cemento constituido por material rojizo.

Al microscopio, se observa que los fragmentos pequeños son de una mezcla fina de sílice microgranular, sericita, material arcilloso y óxidos de hierro, con invasión carbonática en forma de pequeños granos redondeados y venillas.

Hay venas de carbonato en cristales largos de extinción ondulosa, dispuestos perpendicularmente a los hastiales, configurando una textura en peine con pequeñas cavidades rellenas por cuarzo. En los contactos con la brecha se depositó un fino borde de sílice microcristalina.

El carbonato se determinó como dolomita por el método de espectrometría de reflectancia SWIR.

19. Área Los Sapitos

Generalidades

Se ubica en la pampa de Ranchillos, entre el valle del río Blanco y la sierra de La Punilla, a 3.700 m sobre el nivel del mar. Dista 140 km de Jagüé, desde donde se accede por ruta y huellas con vehículos de tracción simple o doble.

Fue explorada por el SEGEMAR durante los años 1969 y 1970.

Los derechos mineros pertenecen a la Compañía Minera Solitario Argentina SA, que realizó estudios geoquímicos y geofísicos, más de 4 km de trincheras y 500 m de perforaciones.

Geología del depósito

En el área afloran conglomerados, arcosas, areniscas micáceas y lutitas de la Formación Ranchillos, dispuestas en posición homoclinal N-S con inclinación 30-35° E, que hospedan diques y filones capa andesíticos, dacíticos y riolíticos. Un cuerpo subvolcánico andesítico del Eoceno (36 Ma) corta sedimentos y rocas filonianas. Al naciente del intrusivo se extiende un área de fuerte alteración arcillosa y lixiviación ácida, con abundante hematita terrosa, jarosita, y escasas venillas de cuarzo. En algunos sectores abundan venillas de yeso/selenita. Esta alteración hidrotermal está relacionada a diques y se presenta como fajas claras separadas por sedimentos verdosos no alterados. Una falla N-S marca el límite occidental de la misma.

La prospección geoquímica de rocas ejecutada por el SEGEMAR (27 muestras) no encontró valores anómalos en Cu-Pb-Zn-Mo en el área alterada. Sin embargo, 3 km al SO del intrusivo, en la quebrada Ranchillos, descubrió una faja de intensa silicificación con mineralización de hasta 6% Pb, 0,12% Zn y 250 ppm Cu.

En la grilla de muestreo superficial realizada

por la Compañía Minera Solitario Argentina SA se detectaron anomalías superiores a 50 ppb Au, con un máximo de 1.100 ppb Au. Las perforaciones posteriores habrían demostrado que tanto la alteración como la mineralización son superficiales, desapareciendo algunas decenas de metros en profundidad.

La imagen satelital de alteraciones JERS-1 muestra un área de alteración arcilloso-sericítica de 3 km de largo en dirección E-O.

Panteleyev y Cravero (2001) definieron el área como una zona de alteración arcillosa de probable ambiente epitermal. Una datación Ar-Ar efectuada por Panteleyev (1998) es evidencia de que el prospecto Los Sapitos está alojado en un edificio volcánico eoceno/oligoceno.

OTRAS ÁREAS

Caserones

Es una anomalía de color que probablemente se continúe en Chile en el megaproyecto Caserones. Según la información de Rode y Carrizo (2007), fue explorada por Deprominsa y Río Doce Argentina SA. Entre 1995 y 1996, Minera Eldorado SA llevó a cabo una exploración con muestreos de suelos y roca, sin resultados de anomalías. Aflora una secuencia volcánoclastica de la Formación Peñas Negras, con coladas andesítico-dacíticas intruidas por cuerpos interdigitados de pórfiros dacíticos. Estructuras NO-SE y dextrales deslizaron los cuerpos unos contra otros; una megaestructura de rumbo ONO-ESE atraviesa la anomalía y provoca la aparición de cuerpos de brecha. Existe predominio de alteración arcillosa y silíceo en zonas en que hay control estructural; la alteración propilítica afecta a las rocas de composición intermedia en los bordes del área (Rode y Carrizo, 2007).

Comecaballos

En 1996 Minera Eldorado SA realizó estudios geoquímicos sin resultados favorables. Según Rode y Carrizo (2007), afloran flujos andesíticos y dacíticos, cubiertos por lapilli y tobas, en contacto por falla con rocas intrusivas del Grupo Choiyoi. Se reconoció alteración arcillosa débil en las rocas del Grupo Choiyoi, las que se encuentran cizalladas intensamente y cubiertas por cuerpos dacíticos y riolíticos inalterados.

Cerro Colorado

En este prospecto, inmediatamente hacia el O en las nacientes del río Bermejo, la empresa High American Gold realizó una exploración en 1996, cerca del límite con Chile al sur del Hito La Ollita y al N del cerro Colorado. En 1999, Deprominsa llevó a cabo un mapa del área subaflorante de un intrusivo de pórfiro granodiorítico, el que presenta un sector amplio silicificado de más de 4 km² con venilleo, silicificación penetrativa y sulfuros reemplazados por jarosita y goethita, además de calcopirita, pirita y óxidos de cobre. Hay biotita secundaria en rodados, la que permite suponer la cercanía de alteración potásica. Los valores de análisis de esquirlas de roca no revelan el potencial minero (Rode y Carrizo, 2007).

Otras áreas o prospectos, con escasa o nula información disponible, son las siguientes: Carachas Norte; Paso del Rincón; Paso de la Mina; Cordillera de Santa Rosa y Santa Rosita.

3.2. FAJAS METALOGENÉTICAS Y DOMINIOS METÁLICOS

Sobre la base del concepto de Nokleberg (1998, en Zappettini, 1999) que define a las fajas metalogenéticas como unidades geológicas que contienen o son favorables para contener un grupo de modelos de depósitos coetáneos y genéticamente relacionados, donde aparecen depósitos con características definidas y en cuyo ámbito existen posibilidades de hallazgo de acumulaciones similares, se han delimitado dentro de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos las siguientes fajas metalogenéticas:

3.2.1. FAJA METALOGENÉTICA DE GRANITOS POSTCOLISIONALES Y PLATEAU RIOLÍTICO, DE EDAD PERMO-TRIÁSICA, POS-PCPT .

El magmatismo gondwánico cobra interés metalogenético con los granitos postcolisionales y el plateau riolítico, representados por la Formación Carnerito, los granitos Mogotes y Macho Muerto y el Grupo Choiyoi. Las expresiones del arco magmático (POS-AM CP), representadas por la granodiorita Tabaquitos y la Formación Punta del Agua, por lo hasta ahora conocido, serían estériles.

El cordón de la Brea es la región de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos donde mejor se expresan los eventos metalogenéticos de edad permo-triásica. Las cuatro áreas de alteración con mineralización del extremo norte del Cordón de la Brea - Ranchillos, Pastos Largos, Carnerito y Laguna de los Huaycos - tienen como característica común la presencia de granitoides y volcanitas ácidas con abundante turmalina que intruyen a areniscas y cuarcitas del Carbonífero, a las que alteran y metamorfizan. Excepto en Ranchillos, volcanitas ácidas (Grupo Choiyoi?) se apoyan en forma de parches sobre las sedimentitas y *hornfels*. Completando el perfil, en Carnerito y Laguna de los Huaycos aparecen dacitas y andesitas terciarias apoyadas en discordancia sobre los terrenos neopaleozoicos.

Los granitoides del cordón de La Brea registraron edades entre 280 Ma (Pérmico) en el área de la mina Margarita, y 246 Ma a 217 Ma (Triásico inferior a Triásico superior) en el área de Ranchillos (Panteleyev, 1998; Fauqué, 2000). Es probable que existan granitos algo más antiguos, como los que afloran al este, en Precordillera (La Criollita, 296 Ma), y que el período de emplazamiento del batolito de Cordillera Frontal se extienda 80 Ma, entre el Carbonífero superior y el Triásico superior.

Al sur de la Carta, en La Ortiga (aproximadamente 29° 19' LS y 69° 50' LO), las rocas piroclásticas riolíticas y los sedimentos volcanoclásticos del Grupo Choiyoi fueron datados mediante U-Pb en circones (Steven *et al.*, 1998; Panteleyev, 1998) en 243 ± 4 (Triásico inferior) y en 211 ± 6 Ma (Triásico superior). Las riolitas de Cajón de La Brea pertenecerían a ese Grupo. En contraste, en la mina Margarita, las rocas volcánicas félsicas previamente mapeadas como parte del Grupo Choiyoi dieron una sola edad radiométrica pérmica, de 280 Ma (Fauqué, 2000). Estas rocas ahora se incluyen como parte de la Formación Carnerito del Pérmico. Tres dataciones K/Ar informadas por JICA-MMAJ (1999b) dieron edades triásicas, de 246 ± 12 , 235 ± 12 y 217 ± 11 Ma, en diques riolíticos que cortan a la Formación Carnerito, cerca del prospecto Quebrada de Ranchillos. Claramente, en esta región es de esperar una gran revisión de las edades de las unidades cuando se realicen determinaciones adicionales.

Puede concluirse que tanto los granitoides de las áreas de Ranchillos y Pastos Largos como los pórfiros riolíticos del cordón de La Brea y el cordón

Limítrofe, y las volcanitas del Grupo Choiyoi, de edad permo-triásica, representan, respectivamente, la fase intrusiva y la fase efusiva relacionada.

La mineralización y alteración de edad permo-triásica estarían vinculadas, por lo examinado *in situ*, a diques riolíticos emplazados en antiguas fracturas y derivados de grandes cuerpos de esa composición que intruyen al granito Carnerito y a la Formación Ranchillos. Tres dataciones de estos diques indican edades que van del Triásico inferior al Triásico superior, y a ellos se relacionaría la mineralización de Cu (Au?) en el cordón de la Brea. Sin embargo, el hallazgo de intrusivos paleógenos (Panteleyev, 1998) en esta área revela la necesidad de estudios más intensivos para la definición de una faja metalogenética permo-triásica en la Carta.

3.2.2. FAJA METALOGENÉTICA DE VOLCANITAS DE RETROARCO DEL EOCENO - OLIGOCENO POS-AMTP (ARCO MAGMÁTICO PALEÓGENO).

La Formación Valle del Cura representa una intensa actividad volcánica sedimentaria sinorogénica depositada en una cuenca de retroarco.

Litvak y Poma (2005) indicaron que en el Valle del Cura (San Juan, inmediatamente al sur de la Carta Pastillos) se reconocen tres episodios volcánicos paleógenos. El más antiguo está representado por un conjunto de basaltos alcalinos reunidos en la unidad Basaltos Río Frío (Litvak y Page, 2002), mientras que el más joven, desarrollado desde el Oligoceno Superior, comprende las rocas incluidas en la Unidad Doña Ana, originalmente definidas por Makshev *et al.* (1984). Entre ambos eventos se desarrolló un importante episodio volcánico-sedimentario representado por una espesa secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas con notables cambios faciales incluida en la Formación Valle del Cura.

En la región Peñas Negras-Río Tamberías, las sucesiones volcánicas terciarias que infrayacen a unidades equivalentes a la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas fueron en primer término referidas como Formación Peña Negra por Marcos *et al.* (1971) y Complejo Peña Negra por Ríos Gómez *et al.* (1997). Las "volcanitas Peñas Negras" y el cuerpo intrusivo en el área de alteración Los Sapitos pueden correlacionarse en edad con la Formación Tobas Valle del Cura del cordón de la Brea y la Cordillera del Zancarrón,

estudiadas por Limarino *et al.* (1999), con edades K-Ar de 45 ± 2 ; 44 ± 2 y 36 ± 1 Ma para andesitas y 34 ± 1 Ma para dacitas-riodacitas (Eoceno medio a superior).

Por otra parte, Panteleyev (1998) propuso la asociación de la mineralización aurífera con diques de edad eocena (datados en 52 Ma por método Ar-Ar), en el cordón de la Brea. Bajo esta propuesta, la faja POS-AMTP contendría mineralización epitermal, del modelo 7. Edades de alrededor de 36 Ma se conocen en el norte argentino (Zappettini, 1999), en el ámbito de la Hoja Fiambalá cerca de la frontera con Chile, y en el Complejo Volcánico Santa Inés en la Hoja Geológica Socompa (en el que se ubica el depósito de pórfiro de cobre Taca Taca Bajo). En Chile, edades en el límite Eoceno-Oligoceno coinciden con el emplazamiento del pórfiro de cobre El Salvador y pórfiros dacíticos en la Faja Maricunga (Quebrada Paredones, $36,4 \pm 0,9$ Ma).

3.2.3. FAJA METALOGÉNICA DE VOLCANITAS DEL ARCO MAGMÁTICO NEÓGENO, POSTACREACIONAL EN EL TERRENO CHILENO. POS-AMTN.

La faja incluye la Unidad Doña Ana y Formación Cerro de las Tórtolas (del período Oligoceno-Mioceno medio al superior), así como también la Formación Veladero (Plioceno superior-Pleistoceno). Contiene mineralización de tipo pórfiro de Cu (\pm Mo \pm Au); epitermal aurífera (posiblemente de alta sulfuración, modelo 7c) y también del tipo polimetálica simple, modelo 14 c, de Pb-Zn-Ag (\pm Au \pm Ba).

En un ambiente geológico similar al de los prospectos de Peñas Negras, con coordenadas aproximadas $28^{\circ} 18' \text{LS}$ y $69^{\circ} 26' \text{LO}$ (La Vicuña, La Ollita y Tamberías), el área chilena donde se emplaza Caserones (a 18 km de distancia), registra alteraciones datadas en 21-23 Ma (Mioceno inferior). Los pórfiros mineralizados se encuentran en profundidad, hospedados en la parte basal de la Unidad Doña Ana y serían anteriores a la depositación de las areniscas y limolitas.

El sistema epitermal de alta sulfuración Cerro Amarillo fue datado en 23,1 Ma (JICA, 1999b) y esa edad se hace extensiva a sus similares Río de la Flecha y Bordo Atravesado, en el área de Macho Muerto.

En el sistema porfirico de Cu-Mo Los

Mogotes, la alteración sericitica ocurrió hace 17 Ma y un pórfiro dacítico postmineral, con escasa alteración, se emplazó hace 15,3 Ma (JICA, 1999b).

Asociados con el volcanismo de la Formación Cerro de las Tórtolas es posible entonces la presencia de sistemas porfiricos y epitermales de edad oligomiocena (23 Ma) y otros similares ocurridos hacia el comienzo del evento volcánico. En el área de Peñas Negras ambos eventos estarían superpuestos y hospedados en la Unidad Doña Ana.

3.3. METALOTECTOS

3.3.1. LITOLÓGICOS

3.3.1.1. Mineralización permo-triásica

El contacto entre la Formación Carnerito y la Formación Ranchillos es el principal metalotecto de la mineralización permo-triásica. En la cúpula de los granitos se emplazaron pegmatitas y vetas de cuarzo que pueden contener calcopirita y otros minerales de cobre; en los *hornfels* los bancos de areniscas muestran fuerte alteración sericitica, producto de la alteración de las micas originales contenidas, mientras que las cuarcitas están inalteradas. La turmalina negra, derivada de las cúpulas graníticas, aparece como brechas y mineral de pegmatitas y vetas-venillas de cuarzo que afectan al conjunto.

La mineralización y alteración de edad permo-triásica están directamente vinculadas a diques riolíticos emplazados en antiguas fracturas y derivados de grandes cuerpos de esa composición que intruyen al granito Carnerito y a la Formación Ranchillos. Tres dataciones de estos diques indican edades que van del Triásico inferior al Triásico superior, y a ellos se relacionaría la mineralización en el cordón de la Brea.

3.3.1.2. Mineralización neógena

Las rocas de la Unidad Doña Ana y de la Formación Cerro de las Tórtolas son receptoras de los probables sistemas hidrotermales - porfiricos y epitermales - mineralizados. En el área hay indicios de dos tipos principales de mineralización asociados con estas rocas: pórfiros auríferos o aurífero-cupríferos y depósitos epitermales de

metales preciosos. Los pórfiros auríferos están asociados con *stocks* dioríticos a diorítico-cuarzosos, más cuerpos subvolcánicos andesíticos a dacíticos, en cuyas cúpulas se alojan conjuntos de vetas estrechas de cuarzo y fracturas silicificadas.

3.3.3. ESTRUCTURALES

3.3.2.1. Estructuras NO

Las estructuras de rumbo noroeste, de edad no determinada, tendrían un importante control en algunos distritos mineralizados, principalmente debido a que estas estructuras parecen controlar el emplazamiento de cuerpos hipabisales, vetas y áreas de alteración. A escala local de exploración, como en el caso del prospecto Vicuña, los complejos de brecha son de importancia para mineralizaciones epitermales de oro-plata.

3.3.2.2. Estructuras N a NE

Las rocas paleozoicas a triásicas que forman el bloque elevado que constituye el cordón de la Brea son cortadas por un sistema de fallas de orientación N a NE, escalonadas y de escasa inclinación; algunas de ellas, tales como en Ranchillos, Laguna de los Huaycos y Las Carachas, contienen zonas de alteración hidrotermal (Panteleyev, 1998). La edad de esa alteración es desconocida aunque se supone terciaria.

3.3.2.3. Estructuras E – O

En el cordón del Inca, una “faja” orientada E-O de 8-10 km de ancho y 25 km de longitud, limitada en sus extremos por dos grandes fracturas inversas de alto ángulo de rumbo NNE, incluye los prospectos de alta sulfuración Río de la Flecha (o Termas del Inca), Cerro Amarillo y Cordón del Inca, y el área de alteración Bordo Atravesado.

La escarpa del Cordón del Inca sigue la traza sinuosa de una falla gravitacional de rumbo general E-O y posible hundimiento hacia el norte. En inmediaciones de esta estructura, en ambos costados, se ubican los prospectos mencionados. Numerosas fracturas menores de dirección NNE a NNO intersectan la faja a lo largo de toda su extensión.

3.3.3. METALOTECTOS POSITIVOS

En el tramo septentrional del cordón de la Brea, se evidencia -en todos los casos-, que las zonas de alteración y silicificación son lineales y están controladas por estructuras; en Laguna de Los Huaycos es una zona de cizalla. La tectónica pre-terciaria fue preferentemente NO-SE, rumbo común de los diques de riolita, los lamprófiros y la mayoría de las fajas silicificadas, mientras que la tectónica terciaria es casi exclusivamente NE-SO. Por lo tanto, en conjunción con lo expresado más arriba, se supone un período mineralizador permo-triásico controlado por estructuras NO-SE y otro terciario controlado por esas mismas estructuras reactivadas y nuevas de rumbo NE-SO.

La intersección de fracturas NO-SE con otras NE-SO es, en el estado actual de conocimientos, el metalotecto positivo en la búsqueda de áreas de alteración-mineralización relacionadas al magmatismo terciario. Las imágenes JERS muestran el contraste entre las alteraciones lineales según esas direcciones que aparecen en el cordón de la Brea y las de tendencia circular que predominan en el cordón Limítrofe.

3.4. ANOMALÍAS

3.4.1. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Las principales áreas de alteración hidrotermal hasta el momento reconocidas en el área de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos ya fueron descritas en el capítulo Yacimientos minerales y Áreas de alteración, así como la vinculación existente con mineralización reconocida.

Las áreas de alteración de la comarca están relacionadas principalmente a fallas o sistemas de falla NO y NE, y en menor grado a fracturas N-S y E-O. Sin embargo, existe un neto contraste entre las áreas de contornos redondeados que aparecen en las volcanitas terciarias del cordón Limítrofe y las alteraciones lineales del cordón de la Brea; el sector alterado del distrito Las Carachas es un tipo intermedio entre las anteriores.

La porosidad y reactividad de las volcanitas mesosilícicas permitió un mayor desarrollo areal de la alteración hidrotermal, pero el limitado espesor de las mismas y la erosión actuante entre pulsos efusivos ha originado una apretada zonación vertical y los fenómenos de *telescoping*

descriptos en prospectos de la Faja El Potro. En contraposición, la escasa reactividad de las rocas neopaleozoicas del cordón de la Brea limitan la alteración hidrotermal a los bordes de estructuras y rocas filoneanas.

Si se compara lo indicado en imágenes satelitales JERS-1 con las observaciones de campo, surge una fuerte correspondencia para las alteraciones sericítica y arcillosa (caolín) y la presencia de fajas silicificadas en sectores donde podría esperarse alunita. Este mineral, sugerido en numerosos lugares, fue constatado en pocas áreas y está llamativamente ausente en prospectos como Los Mogotes, tomado como ejemplo para la interpretación. Por otra parte, se ha detectado escasa alunita en zonas no señaladas, como es el caso de La Ollita y sector sanjuanino del prospecto El Potro. Las múltiples alteraciones aluniticas supuestas en el cordón de la Brea deben ser interpretadas como fajas de silicificación,

que pueden contener alunita como en Laguna de los Huaycos, o simplemente sílice como en Carnerito, Santa Rosita, etc. En Los Mogotes, la zona considerada alunitica coincide con un sector de alteración filica (cuarzo + sericita + piritita).

Los sectores de fuerte caolinización están exactamente determinados y por lo tanto sólo queda reconocer los no visitados. La alteración sericítica es la más difundida y en consecuencia la menos útil como criterio de selección.

3.4.2. ANOMALÍAS GEOFÍSICAS

Las anomalías geofísicas fueron informadas por el Lic. P. Johanis del Área Geofísica del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR, para las siguientes zonas de interés: Macho Muerto, distrito Las Carachas, Portezuelo del Inca, La Negra y Cerro Los Mogotes (fig. 42).

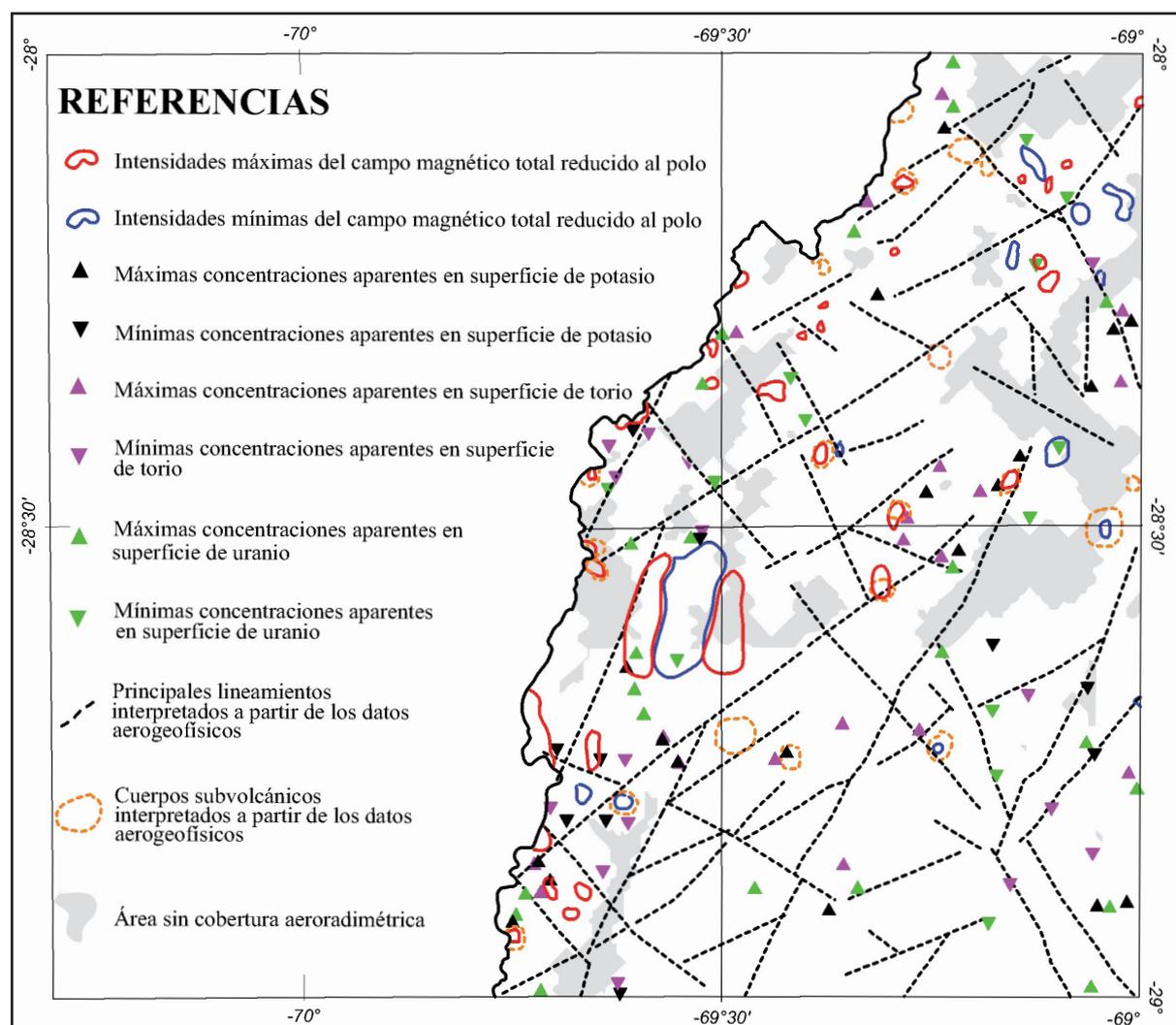


Figura 42. Anomalías geofísicas del área de la Carta (Johanis, 2004)

3.4.2.1. Macho Muerto

La concentración de uranio destaca dos máximos puntuales de interés, en especial el situado en -28:40:20/-69:36:15.

La capa campo magnético total distingue bien por su baja intensidad los granitoides aflorantes al este de Bordo Atravesado. Todo el sector de Cerro Amarillo tiene valores moderados, con algunos mínimos que pueden corresponder a zonas de fuerte silicificación. Se esboza una estructura de rumbo ENE que divide Bordo Atravesado de granitoides pérmico-triásicos, y que marcaría el límite SE de Cerro Amarillo (fig. 43).

La capa intensidad del campo magnético terrestre reducido al polo está completamente enmascarada por la señal proveniente del intrusivo Doña Ana, situado al norte del sector, y es difícilmente interpretable.

En señal analítica se destaca el bajo gradiente de Cerro Amarillo, y la estructura ENE esbozada en campo magnético total.

Potasio, torio y uranio marcan una franja de rumbo NNO que cruza el valle de los ríos Macho Muerto y Mogotes? pasando por Cerro Amarillo. En torio se esboza una segunda estructura ENE, paralela a la antes mencionada, que pasa al oeste de la zona de Bordo Atravesado.

La capa exposición sintetiza la presencia de máximos de uranio, de la franja NNO, y la diferencia lito-geoquímica del bloque? situado al SO.

Las capas de cocientes uranio/potasio y uranio/torio están fuertemente influenciadas por los máximos de uranio, y son de difícil interpretación.

En torio/potasio aparece una franja bien diferenciada, de rumbo NNO al oeste del sector.

3.4.2.2. Distrito Las Carachas

Existe un leve máximo de potasio situado en -28:47:50/-69:25:50.

Este máximo coincide con valores intermedios a bajos de intensidad del campo magnético reducida al polo; concentración aparente en superficie de uranio equivalente; tasa de exposición; cociente uranio/torio; y cociente uranio/potasio. Estos valores bajos a intermedios se disponen en una franja de rumbo NNE a NE. El leve máximo de potasio podría indicar un área de alteración (fig. 44).

3.4.2.3. Portezuelo del Inca (fig. 45)

Mínimo magnético localizado en -28:42/-69:40. Reducido al polo se desplaza a -28:42:30/-69:40.

La señal analítica muestra una franja N-S de bajo gradiente coincidente con esta localización, que se proyecta hacia el sur.

Potasio: bajísimas concentraciones aparentes, excepto extremo NO del sector.

Torio: bajísimas concentraciones aparentes, con dos máximos relativos localizados.

Uranio: máximo localizado en -28:42:15/-69:41 y mínimo rectilíneo de rumbo ESE.

Torio/potasio: mínimo en -28:42:30/-69:40, coincidente con mínimo magnético, posible área de alteración.

Uranio/potasio: remarca la lineación de rumbo ESE, posible estructura, también visible en uranio / torio.

3.4.2.4. La Negra

Potasio: altas concentraciones ligeramente al SE de la mina, y dos altos en el norte del área y al este-sudeste de la mina.

Torio: alto de Torio en forma alargada al este de la mina.

Uranio: concentraciones más bien bajas en el área de la mina.

3.4.2.5. Cerro Los Mogotes

La gran anomalía magnética identificada en el área (69° 34' O; 28° 36' S) fue objeto de un tratamiento especial, elaborado por el Lic. P. Johannis, del Área Geofísica del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR (fig. 47).

A los 69° 34' O y 28° 36' S, en la Hoja 2969-I Pastillos, se localiza un anomalía magnética ovalada, de 16 km de extensión en dirección NNE y 11 km en sentido ONO (fig. 47). La anomalía es de primera magnitud, conformada por una faja central con muy bajas intensidades del campo magnético, flanqueado al este y al oeste por sendas fajas con muy altas intensidades del campo magnético. La anomalía se ubica en un área intensamente prospectada en la última década por minerales preciosos y metalíferos, en las proximidades de las áreas Las Carachas, Macho Muerto, El Potro y Vicuña. La anomalía coincide con afloramientos de volcanitas y piroclastitas de la Unidad Doña Ana,

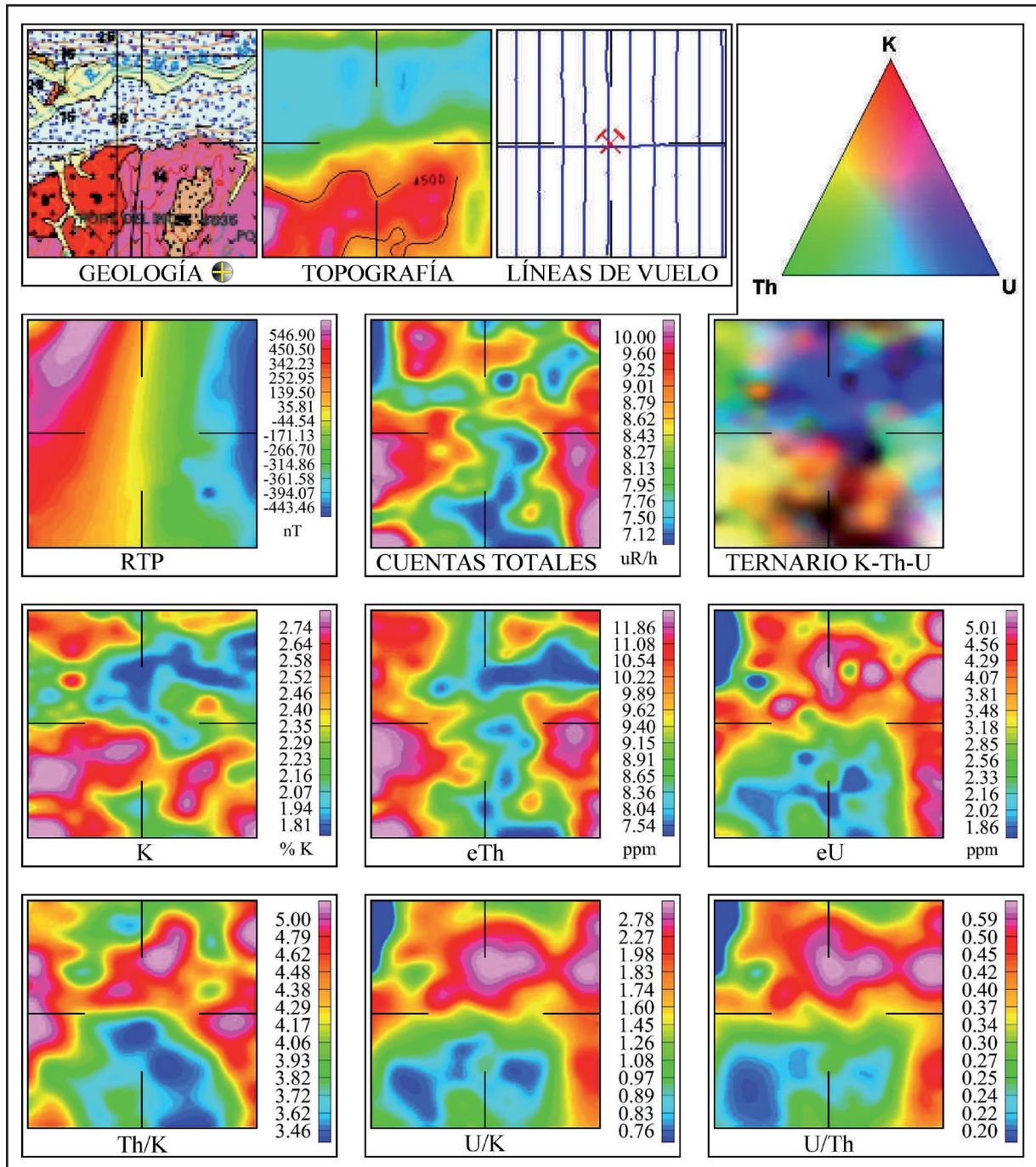


Figura 43. Anomalías geofísicas del área Macho Muerto

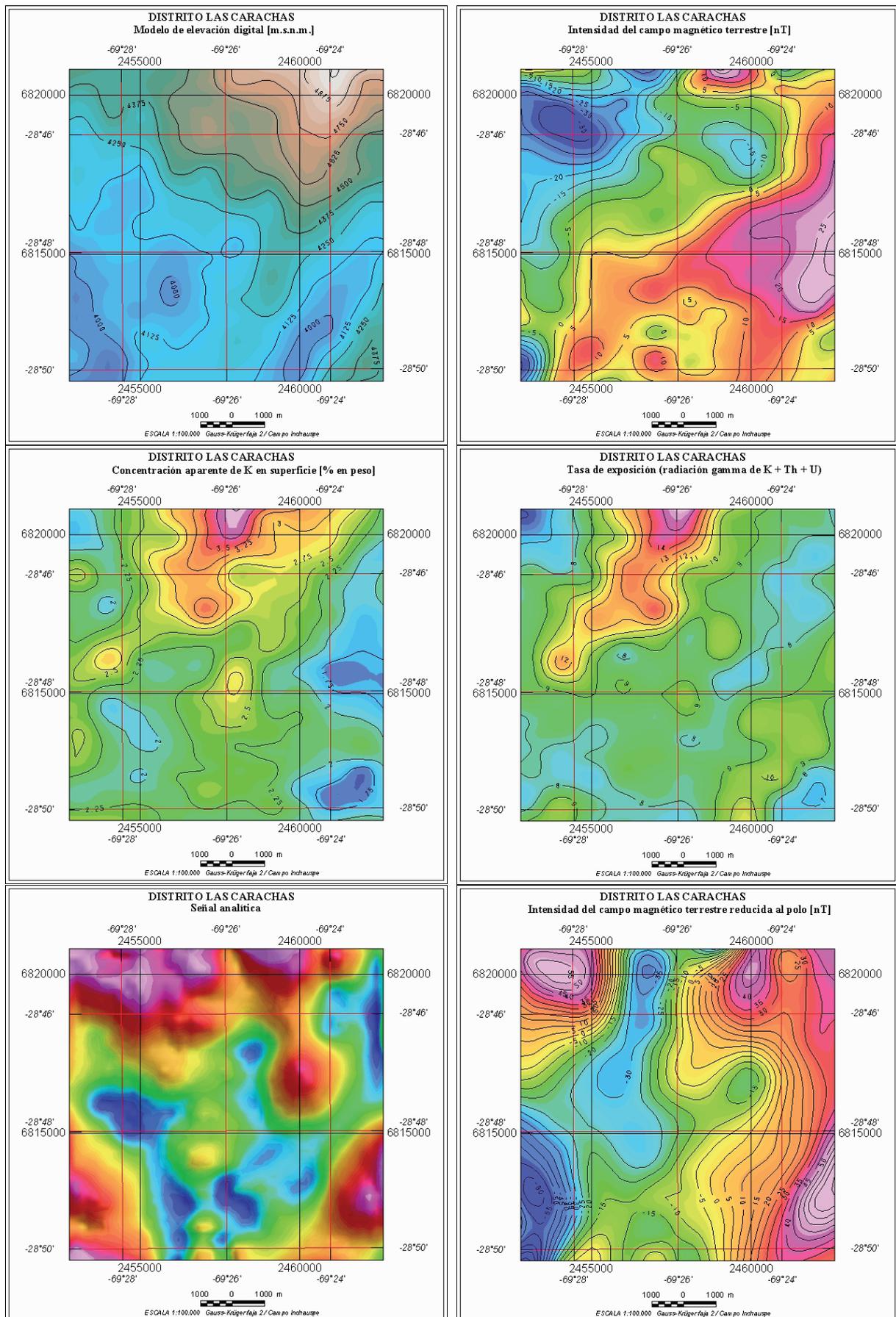


Figura 44. Anomalías geofísicas en el distrito Las Carachas

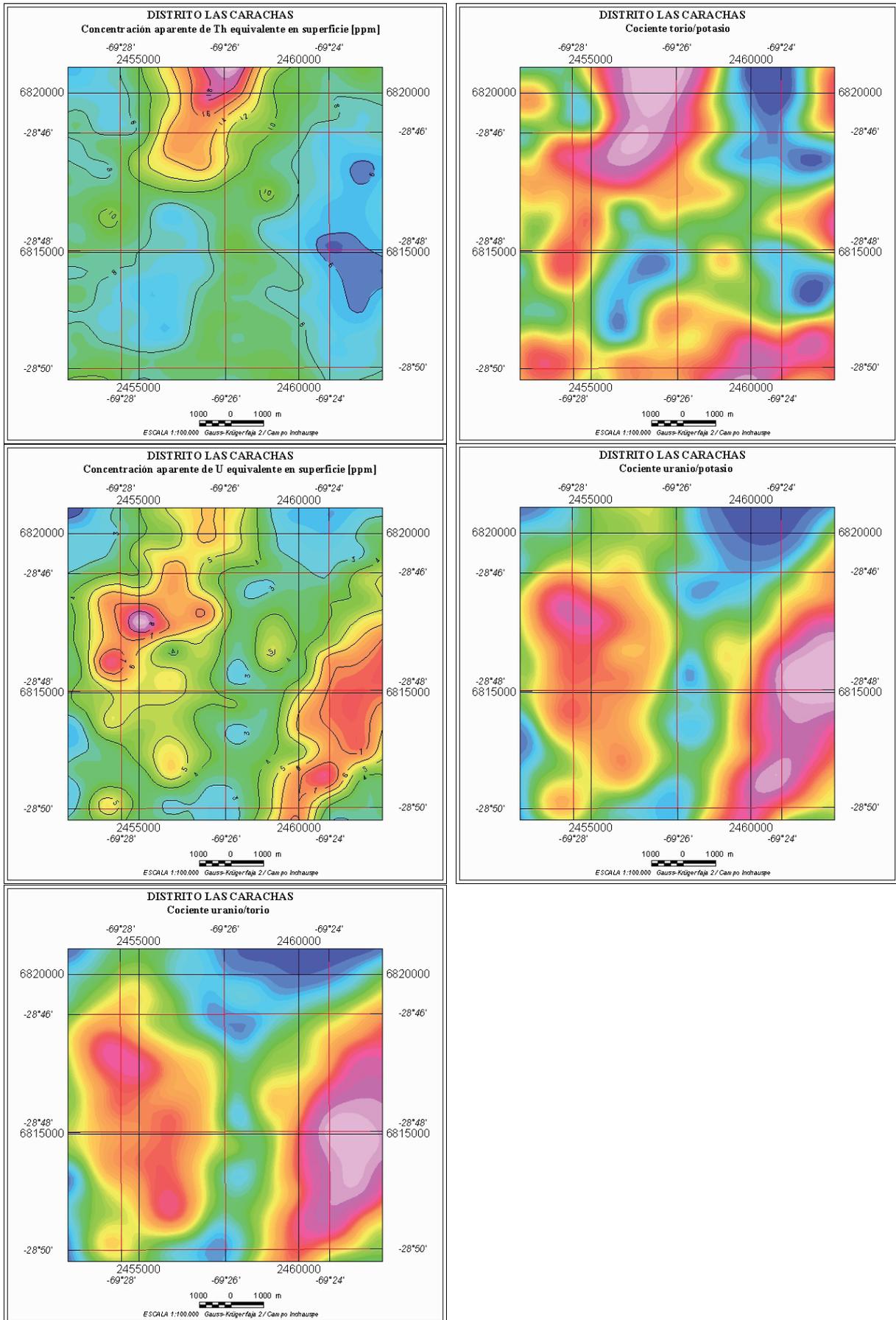


Figura 44. Anomalías geofísicas en el distrito Las Carachas

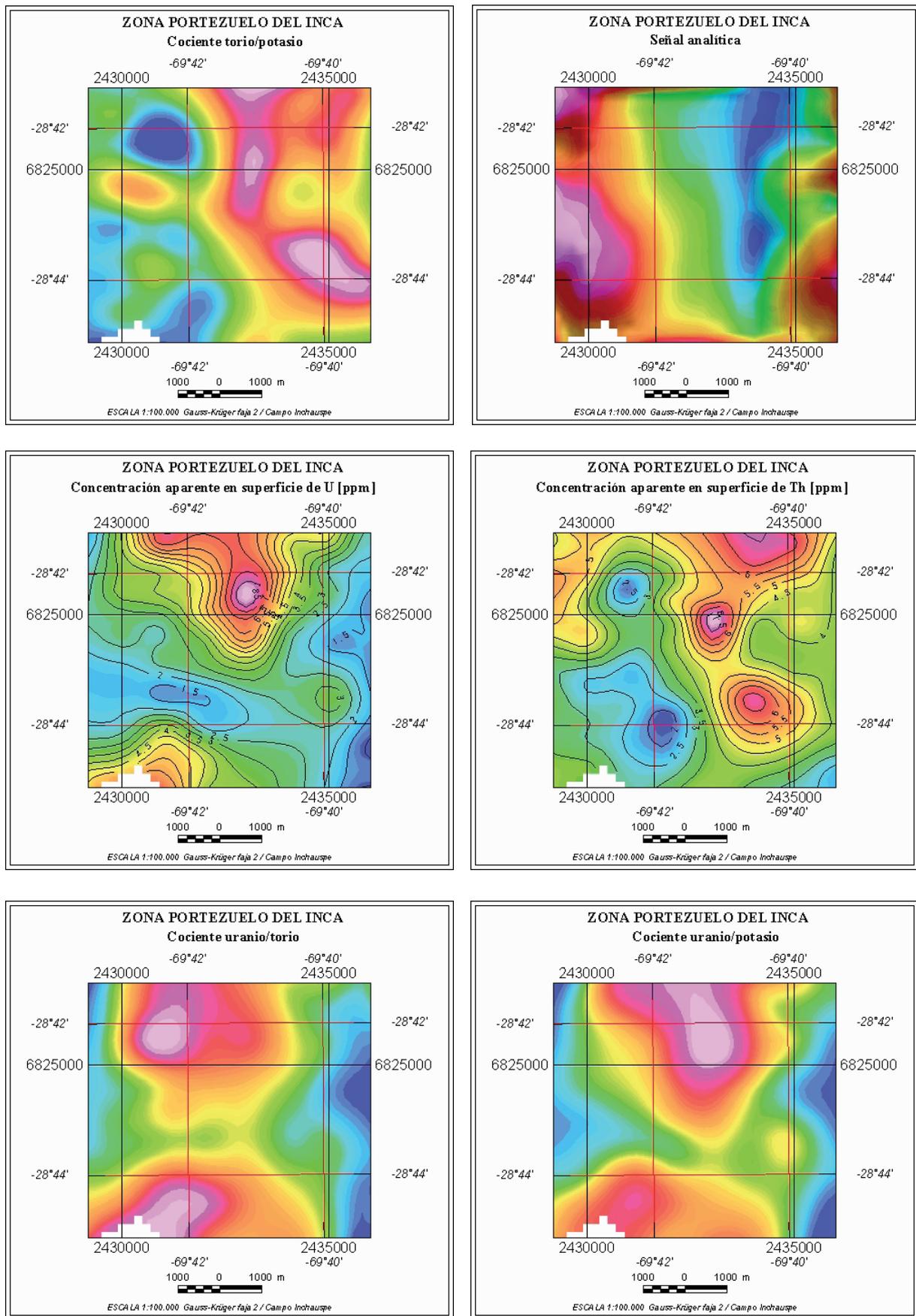


Figura 45. Anomalías geofísicas en el área Portezuelo del Inca

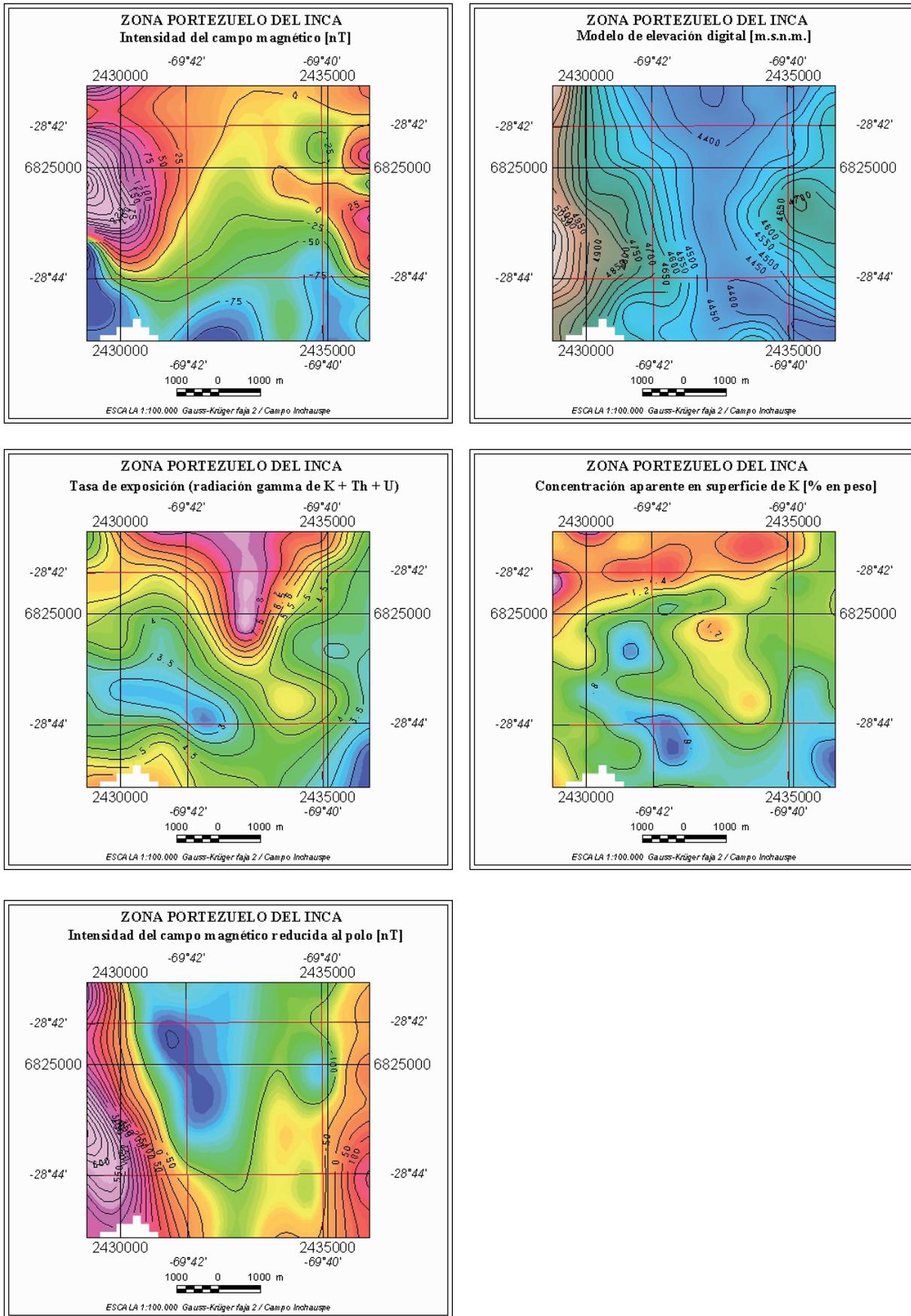


Figura 45. Anomalías geofísicas en el área Portezuelo del Inca

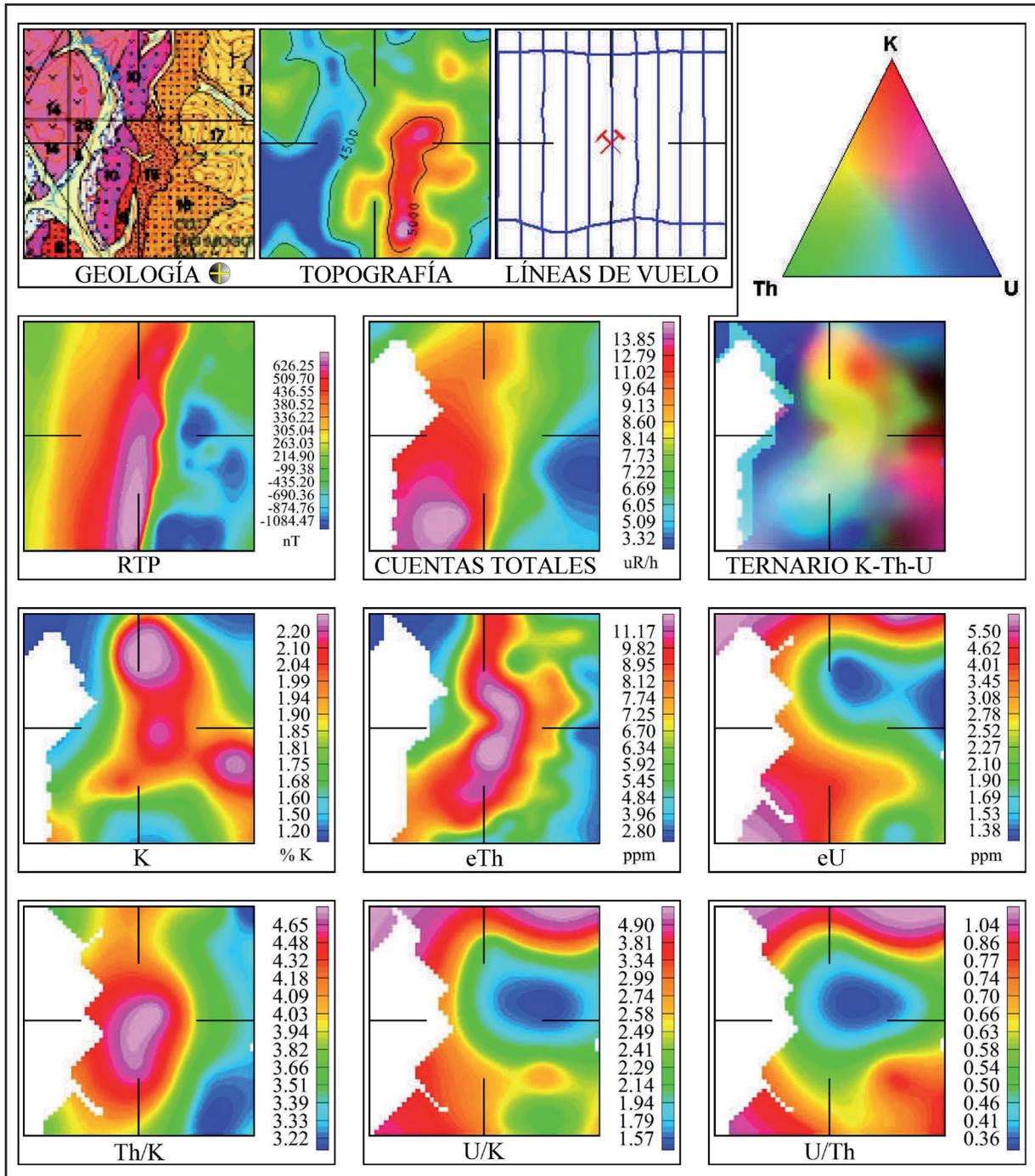


Figura 46. Anomalías geofísicas de la mina La Negra (distrito Las Carachas)

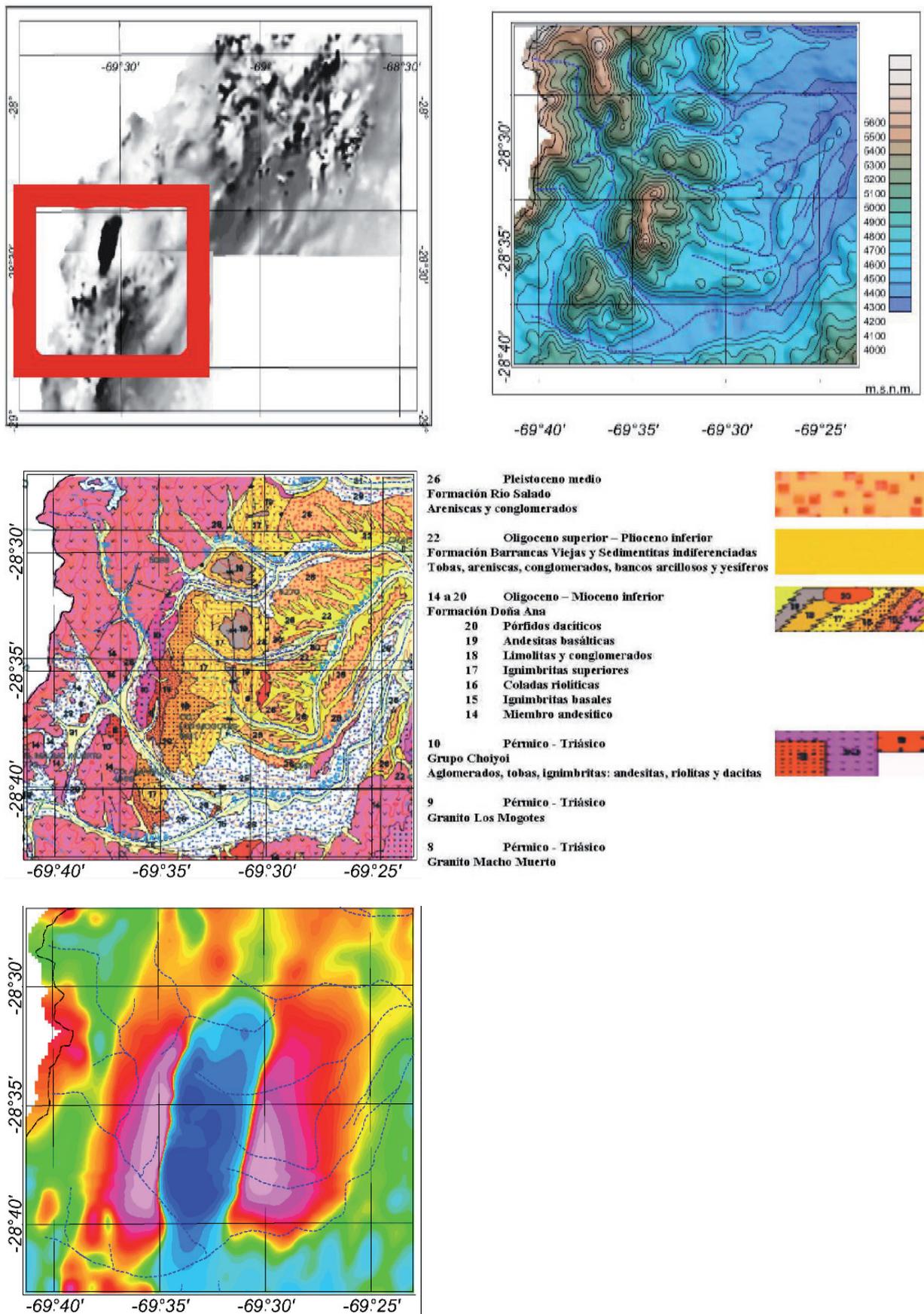


Figura 47. Anomalías geofísicas en Cerro Los Mogotes

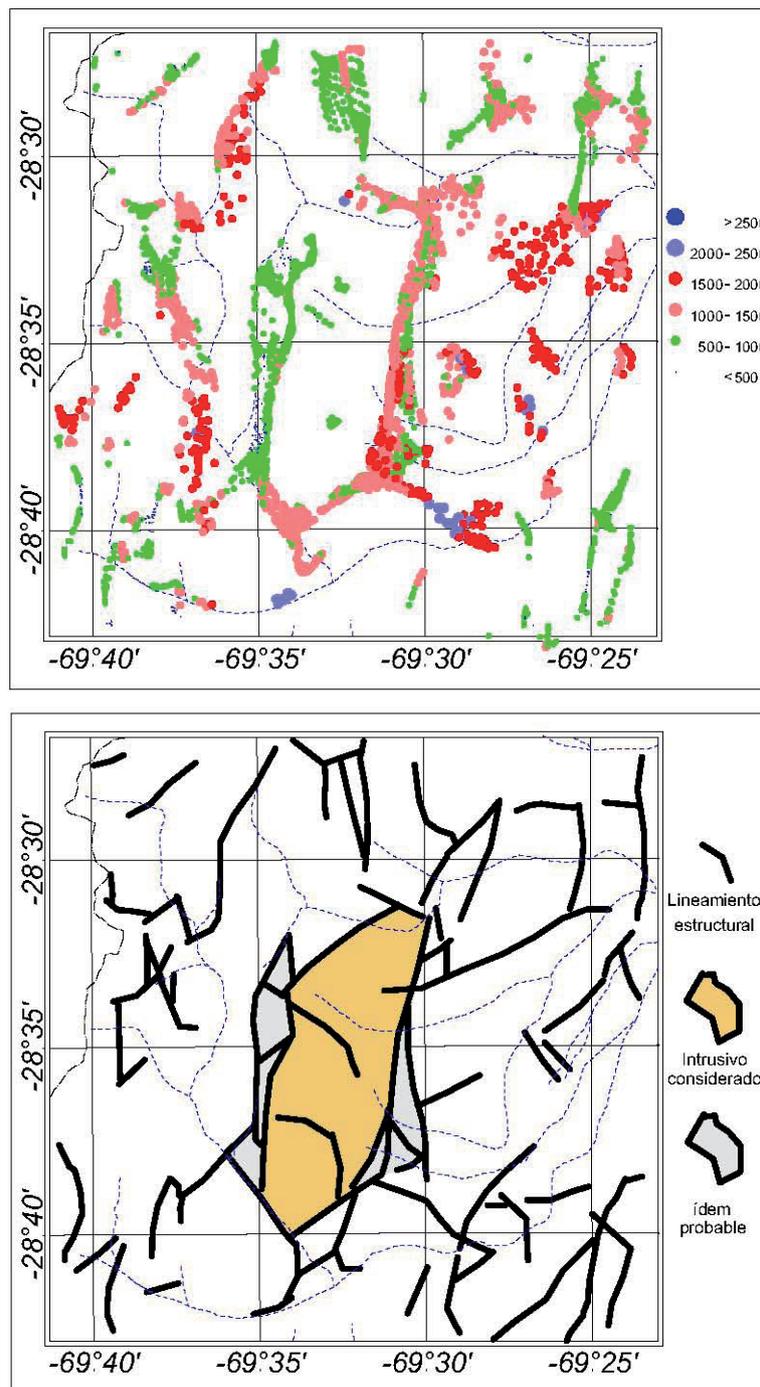


Figura 47. Anomalías geofísicas en Cerro Los Mogotes

de edad oligoceno-miocena inferior, en un ámbito de granitoides pérmico-triásicos. La interpretación geofísica mediante señal analítica y soluciones de Euler permite delimitar un área de intrusión, identificando profundas raíces magmáticas, en un marco estructural transtensivo. La cobertura aerogeofísica de la Hoja 2969-I Pastillos se integra por porciones de los bloques Precordillera Norte, Cordillera Frontal y Puna Austral. Los dos últimos

cubren la anomalía aquí considerada. Ambos bloques fueron volados a una altitud nominal de vuelo de 150 m, con líneas de adquisición N-S espaciadas 1 km, y con líneas de control E-O espaciadas 7,5 kilómetros. El intervalo de muestreo magnético fue de 0,1 s, equivalente -a la velocidad promedio de vuelo- a unos 8 metros. Se observó al oeste de la Hoja, en las proximidades del cerro Los Mogotes, la existencia de una anomalía magnética

compuesta por un mínimo flanqueado por sendos máximos. Dada su magnitud e intensidad, que la torna apreciable a escala subcontinental, fue seleccionada para análisis y procesamiento detallado, a fin de determinar características de la fuente emisora. Para la composición digital de los datos aeromagnéticos se generó un polígono georreferenciado en proyección Gauss-Krüger faja 2 / Campo Inchauspe del área de interés. Con este polígono se recortaron las bases de datos tanto del bloque Puna Austral como del de Cordillera Frontal. Se calcularon las medias de la intensidad del campo magnético reducido al polo de ambos recortes y su diferencia, y luego se

igualaron, sumando a un recorte la mitad de la diferencia, y restándosela al otro recorte. Ambas bases de datos fueron unificadas, grillándose finalmente el canal de intensidad de campo magnético reducido al polo por el método de curvatura mínima, con un espaciado de grilla de 250 metros.

3.4.3. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

La siguiente interpretación geoquímica de los datos multielemento de sedimento de corriente de la

Component	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumul.	Total	% de varianza	% acumul.
1	12,251	29,881	29,881	10,494	25,596	25,596
2	4,399	10,728	40,610	4,342	10,590	36,186
3	3,925	9,573	50,182	3,782	9,224	45,409
4	3,400	8,293	58,475	3,497	8,528	53,938
5	2,242	5,467	63,942	2,477	6,041	59,979
6	2,019	4,924	68,867	2,436	5,942	65,921
7	1,472	3,590	72,456	2,309	5,631	71,552
8	1,260	3,074	75,530	1,631	3,978	75,530
9	,966	2,355	77,885			
10	,910	2,219	80,104			
11	,815	1,988	82,092			
12	,789	1,923	84,016			
13	,723	1,763	85,779			
14	,640	1,562	87,340			
15	,585	1,426	88,767			
16	,563	1,373	90,140			
17	,501	1,221	91,361			
18	,404	,987	92,348			
19	,358	,874	93,222			
20	,337	,822	94,044			
21	,308	,751	94,795			
22	,237	,577	95,372			
23	,211	,516	95,888			
24	,193	,470	96,358			
25	,179	,436	96,794			
26	,160	,390	97,184			
27	,145	,354	97,538			
28	,139	,338	97,876			
29	,126	,307	98,183			
30	,109	,265	98,449			
31	,106	,259	98,707			
32	9,786E-	,239	98,946			
33	9,568E-	,233	99,179			
34	7,407E-	,181	99,360			
35	6,341E-	,155	99,515			
36	5,714E-	,139	99,654			
37	4,999E-	,122	99,776			
38	3,826E-	9,332E-	99,869			
39	2,666E-	6,503E-	99,934			
40	1,832E-	4,468E-	99,979			
41	8,621E-	2,103E-	100,00			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Cuadro 25. Varianza total

Hoja Pastillos fue elaborada por la Lic. Andrea Turel, del Área de Geoquímica de la Dirección de Recursos Geológico-Mineros (IGRM) del SEGEMAR.

3.4.3.1. Introducción

La presente interpretación se basa en los datos geoquímicos multielemento, obtenidos tanto a partir del re-análisis de la fracción -80 de 272 muestras de sedimento de corriente obtenidas durante el Plan La Rioja

Geológico-Minero, como de las 49 muestras tomadas por el SEGEMAR durante el año 2000 (Ferpozzi *et al.*, 2005).

Se aplicó el análisis factorial como método para la reducción de variables y la definición de los componentes principales (factores) (Cuadros 25 y 26), así como se generaron mapas de índices de mineralización y se utilizaron los cocientes La/Yb, La/Sm y Sm/Yb (Kay *et al.*, 1999) de manera de vincular prospectivamente índices y factores de mineralización a variaciones del espesor cortical.

	Componente							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SM	,934		,138					-,118
ND	,911		,162					-,148
CE	,894	,120						-,181
LA	,883	-,102	,158					-,183
LOG_YB	,878	,147	,170	,177	-,141			
LOG_TH	,846	,200			-,302			
LOG_TB	,840	,182	,103	,124				
Y	,840					-,138	-,125	
LOG_LU	,827	,256	,143	,239	-,166			
LOG_BE	,767	,159	,188	-,143	,255	,145		
LOG_HF	,751	,155		,439	-,235		-,179	
LOG_U	,633		-,377			-,157		,282
TA	,618	,255	-,205			-,116		,219
K	,519	,374	,353	-,391	-,162	,204		
LOG_PB	,189	,797	-,116	,147		,129	,162	,222
LOG_CA	-,282	-,778	,131				-,170	
LOG_BR		-,748	-,149	-,222	,261	,115	,171	,209
LOG_CU		,660	,419	-,121		,131	,229	,318
LOG_SR	-,269	-,607	,115			,133	-,566	,131
LOG_ZN	,272	,600	,359	,176		,229		,302
MG		-,364	,832				,144	
SC	,233		,773	,350	-,186		,288	
AL	,309	,236	,736	,102	-,169		-,296	
EU	,314	,130	,525	,207		,277		
LOG_MN	,132	,112	,428	,282	-,266		-,206	
LOG_V			,127	,872	,170			
TI	,311		,308	,799	-,147			
LOG_FE		,269		,743	,336		,123	-,199
CR	,408	,220	,245	,538	-,189		,463	
LOG_CD	-,126	,114	-,224		,783		,131	
LOG_P		-,333		,275	,731			
LOG_MO	-,107	,237	-,273	-,147	,513			,200
LOG_CS		-,255	,189			,864	-,135	,119
LOG_SB		,396	,101		-,239	,737	,103	,178
LOG_AS	-,305	,142	-,238	,186	,248	,652	,153	
RB	,497	,284	,179	-,277	-,157	,517		
NA	,310	-,202					-,776	
LOG_NI	,225		,390	,316	,376		,534	
LOG_W	,274		-,193			,130	,436	,295
LOG_AU				-,185	,167		,336	,663
LOG_AG	-,109	,152		,173		,224	-,103	,593

Método de extracción: Análisis de componentes principales
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

(a)La rotación ha convergido en 12 iteraciones.

Cuadro 26. Matriz de componentes

3.4.3.2. Análisis factorial

A partir del análisis de los estadísticos descriptivos, tablas de frecuencia, histogramas y gráficos del tipo q-q para cada variable, se han detectado los “outliers”, los cuales han sido reemplazados por el valor máximo inmediatamente inferior de la tabla de frecuencias. Los valores reportados por debajo del límite de detección por el laboratorio de análisis químicos han sido reemplazados por la mitad del valor absoluto. La distribución de cada variable ha sido analizada a los efectos de su normalización; la transformación de tipo logarítmica fue la seleccionada en los casos correspondientes. Se definieron 8 factores, los cuales en conjunto explican el 75,5% de la varianza total explicada (VTE)

Interpretación de los factores

Las unidades corresponden al mapa geológico de la Hoja Geológica Pastillos según Fauqué (2000).

Las figuras 48 y 49 (mapas 1 a 8) muestran la interpretación de los factores.

Factor 1: Sm, Nd, Ce, La, Yb, Th, Tb, Y, Lu, Be, Hf, U, Ta, K (Cr, Rb). Mapa 1.

Factor litológico. Pórfiros, granitos y granodioritas. Unidades 5, 6, 7 (2, 4, 14).

Pórfiros riolíticos y andesíticos, granitos y granodioritas, predominantemente Permo-triásico (Formación Carnerito). Intercalaciones de las anteriores en sedimentitas del Carbonífero superior (Formación Ranchillos). Granodioritas carboníferas (Tabaquitos).

Factor 2: Pb, Cu, Zn, Sb -Ca, -Br, -Sr. Mapa 2

Factor de alteración hidrotermal y mineralización polimetálica, predominando sobre miembro andesítico (andesitas, brechas y piroclastitas) de la Unidad Doña Ana (Unidad 14). Niveles de bancos yesíferos intercalados en sedimentitas neógenas (Formación Barrancas Viejas, Unidad 22) son reflejados por los valores negativos del factor. Coincidente con áreas de alteración hidrotermal según Panteleyev (1998): Cerro Caserones, Río Bermejo, Río Blanco, Arroyo Batedero, Cerro Los Mogotes (Macho Muerto?), Filo Amarillo (Río del Inca), y con

manifestaciones: Laguna de los Huaycos, Cordón de la Brea, Mina Margarita y Las Carachas.

Factor 3: Mg, Sc, Al, Eu, Mn (Cu). Mapa 3

Factor litológico. Predominio en sedimentitas del Carbonífero superior (Unidad 4), con brechas y coladas andesíticas interdigitadas (Unidad 3). Gran dispersión en depósitos pedemontanos neógenos y cuaternarios con volcanitas intercaladas.

Factor 4: V, Ti, Fe, Cr (Hf). Mapa 4

Factor litológico. Pórfiros riolíticos, riolitas, granitos. Unidad 6. (14, 9, 2). Pórfiros riolíticos del Permo-triásico de la Formación Carnerito (Unidad 6). Riodacitas en Las Carachas. Ignimbritas, tobas y coladas riolíticas de la Unidad Doña Ana (Unidades 15, 16 y 17).

Factor 5: Cd, P, Mo. Mapa 5

Factor de mineralización (?). Sistema pórfiro en Cerro Los Mogotes, presencia de molibdenita (Panteleyev, 1998).

Factor 6: Cs, Sb, As, Rb. Mapa 6

Factor litológico y de alteración hidrotermal (?). Tobas intercaladas en sedimentitas neógenas (Formación Barrancas Viejas, Unidad 22) y sales (?) vinculadas a aguas termales asociadas a la Formación Veladero (Plio-Pleistoceno). Probables áreas con alteración hidrotermal.

Factor 7: Ni, W, -Na, -Sr, (Cr). Mapa 7

Factor litológico. Coladas y brechas andesíticas (Unidad 4) interdigitadas con sedimentitas del Carbonífero superior, así como pórfiros y volcanitas andesíticas predominantes del Permo-triásico, Oligo-mioceno inferior y Plio-pleistoceno (Unidad 7, 14 y 23).

Factor 8: Au, Ag. Mapa 8

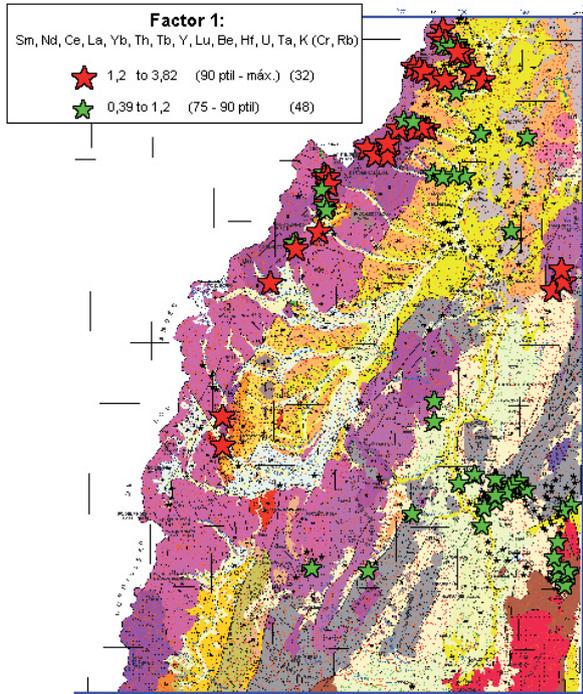
Factor de mineralización. Coincidente con áreas de alteración hidrotermal y mineralización definidas en Panteleyev, 1998: El Potro-Cerro Los Mogotes; Bordo Atravesado; Arroyo Batedero, Pastos Largos (brechas) y La Ollita-Río Tamberías (pórfiro de cobre).

**Análisis de factores.
Factores litológicos**

**Interpretación geoquímica de los datos de sedimento de corriente
de la Hoja Pastillos**

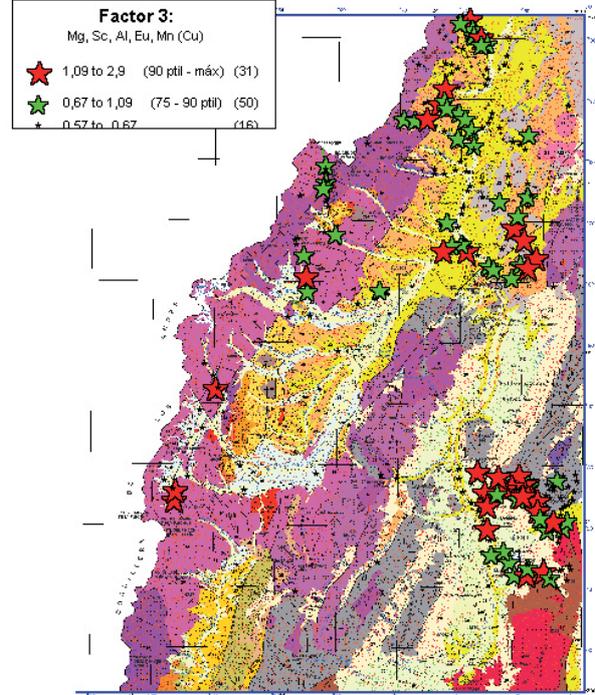
**Sector Geoquímica - DRGM- IGRM - SEGEMAR
Andrea Turel**

Mapa 1



Mapa 3

Escala: 1: 750.000

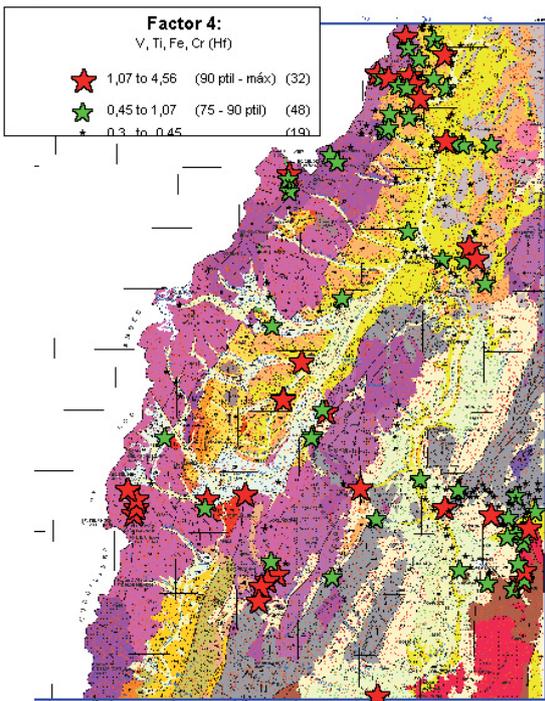


**Análisis de factores.
Factores litológicos**

**Interpretación geoquímica de los datos de sedimento de corriente
de la Hoja Pastillos**

**Sector Geoquímica - DRGM- IGRM - SEGEMAR
Andrea Turel**

Mapa 4



Mapa 7

Escala: 1: 750.000

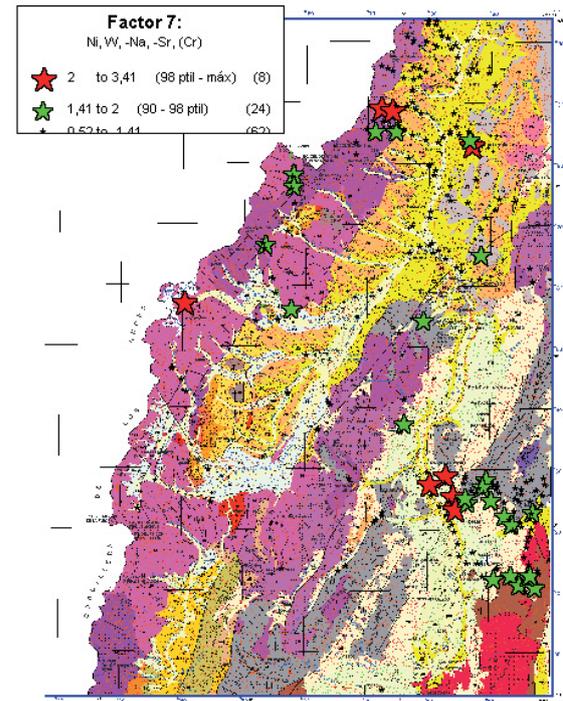


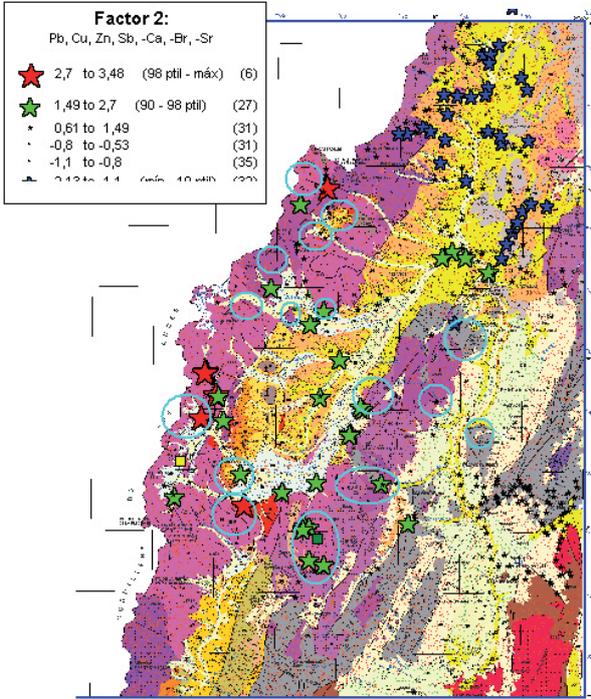
Figura 48. Factores de mineralización (mapas 1, 3, 4 y 7)

**Análisis de factores.
Factores de alteración - mineralización**

**Interpretación geoquímica de los datos de sedimento de corriente
de la Hoja Pastillos**

**Sector Geoquímica - DRGM-IGRM - SEGEMAR
Andrea Turel**

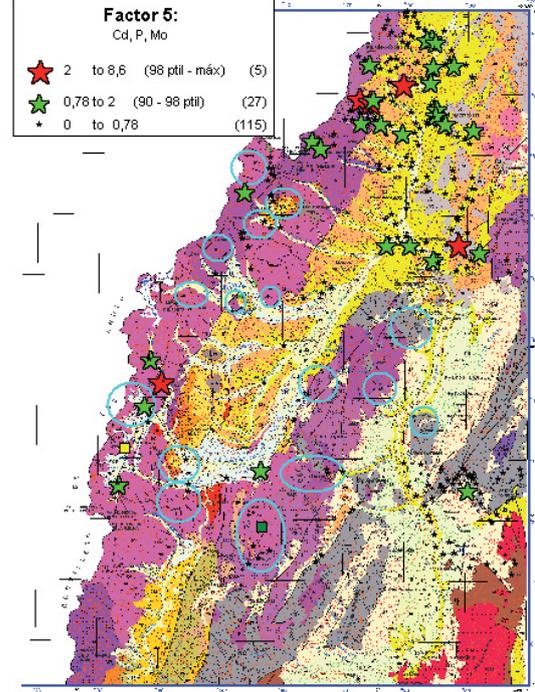
Mapa 2



○ Areas de alteración y/o mineralización según Panteleyev, 1998

Mapa 5

Escala: 1: 750.000



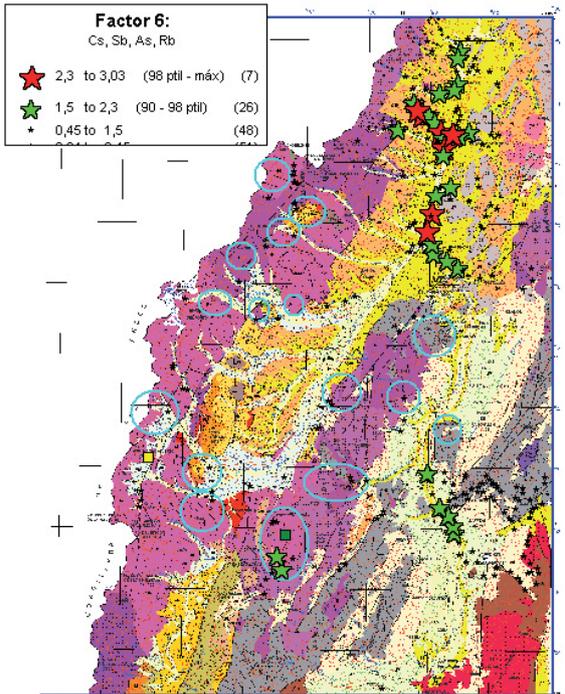
■ Macho Muerto y Las Carachas, Zappettini, 1999

**Análisis de factores.
Factores de alteración - mineralización**

**Interpretación geoquímica de los datos de sedimento de corriente
de la Hoja Pastillos**

**Sector Geoquímica - DRGM-IGRM - SEGEMAR
Andrea Turel**

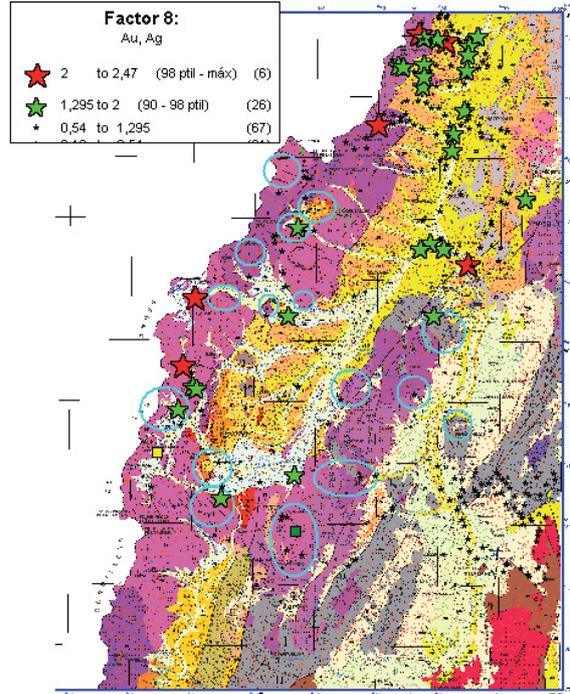
Mapa 6



○ Areas de alteración y/o mineralización según Panteleyev, 1998

Mapa 8

Escala: 1: 750.000



■ Macho Muerto y Las Carachas, Zappettini, 1999

Figura 49. Factores de mineralización (mapas 2, 5, 6 y 8)

3.4.3.3. Mapas de Índices de Mineralización

A partir de la estandarización de las variables utilizadas, han sido confeccionados los siguientes mapas de índices de mineralización (fig. 50 a 63, mapas 9 a 22):

a) Índices extraídos de Amor *et al.* (1998):

PCI: Porphyry Copper Index: Cu+Mo+Au.

Figura 50 (Mapa 9): PCI + Factor 5

EPMI: Epithermal Precious Metal Index: Au+As+Sb+Ag.

Figura 51 (Mapa 10): EPMI + Factor 8

Figura 52 (Mapa 11): EPMI + Factor 6

BMI: Base Metal Index: Pb+Zn+Ba+Cu.

Figura 53 (Mapa 12): BMI + Factor 2

BMI2: Base Metal Index 2:

Pb+Zn+Ba+Cu+Cd+Ag

Figura 54 (Mapa 13): BMI2 + Factor 8

Grilla PCI + EPMI: Porphyry Copper Index + Epithermal Precious Metal Index

Figura 55 (Mapa 14): (Grilla PCI + EPMI) + BMI

b) Índices extraídos de Smith y Perdrux (1983)

Chi-4: Chalcophile Index 4:

+Pb+Zn+As+Sb+Bi+Cd+Mo+Ag

Figura 56 (Mapa 15): Chi-4 + Factor 2

Figura 57 (Mapa 16): Chi-4 + Factor 5

c) Índices extraídos de Smith *et al.* (1987),

citados en Grunsky (2000)

Chi-6: Chalcophile Index 6:

As+Sb+Bi+Mo+Ag+W+Se

Figura 58 (Mapa 17): Chi-6 + BMI

3.4.3.4 Cocientes de tierras raras

La distribución del cociente La/Yb presenta los valores más elevados (7% es superior a 20) en el sector NE de la Hoja, donde predominan los basaltos, andesitas y pórfiros dacítico- andesíticos de la Formación Veladero (Plio-pleistoceno). El factor 6 (fig. 59, mapa 18) y el EPMI (índice de metales preciosos, fig. 61, mapa 20) tienen buena correspondencia con dichos máximos. Los valores más bajos de La/Yb, que estarían vinculados a corteza continental de espesor normal (Kay *et al.*, 1999), tienen buena coincidencia con los máximos del factor 2 (fig. 63, mapa 22) y del BMI (fig. 62, mapa 21), los cuales destacan áreas con anomalías de mineralización polimetálica, así como también

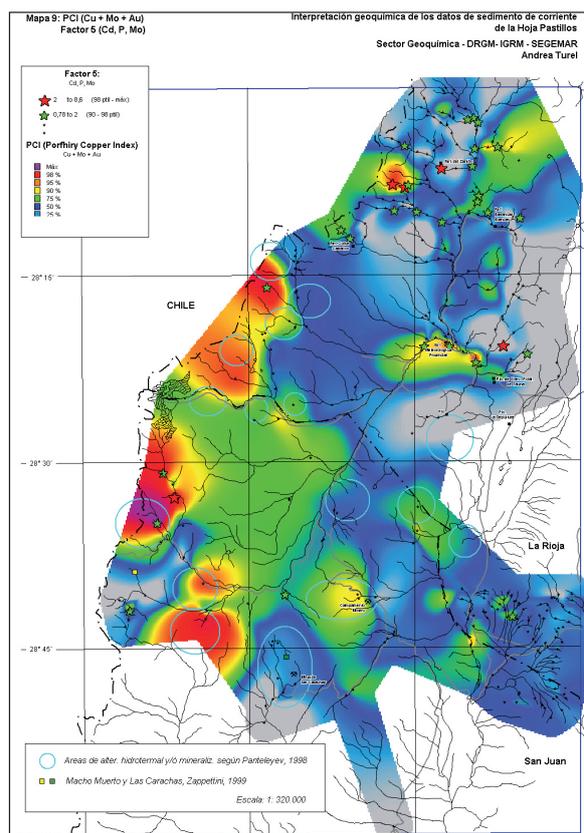


Figura 50 (Mapa 9). Índice de mineralización, PCI + Factor 5

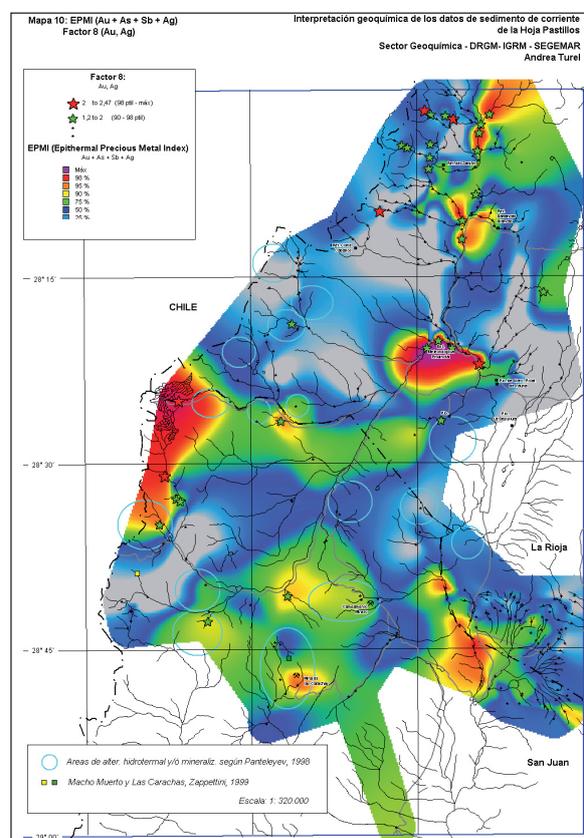


Figura 51 (Mapa 10): Índice de mineralización, EPMI + Factor 8

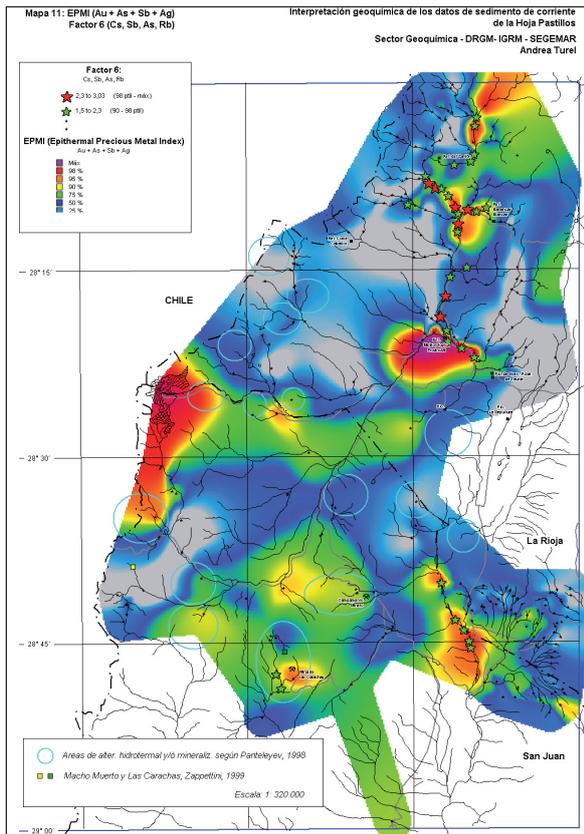


Figura 52 (Mapa 11): Índice de mineralización, EPMI + Factor 6

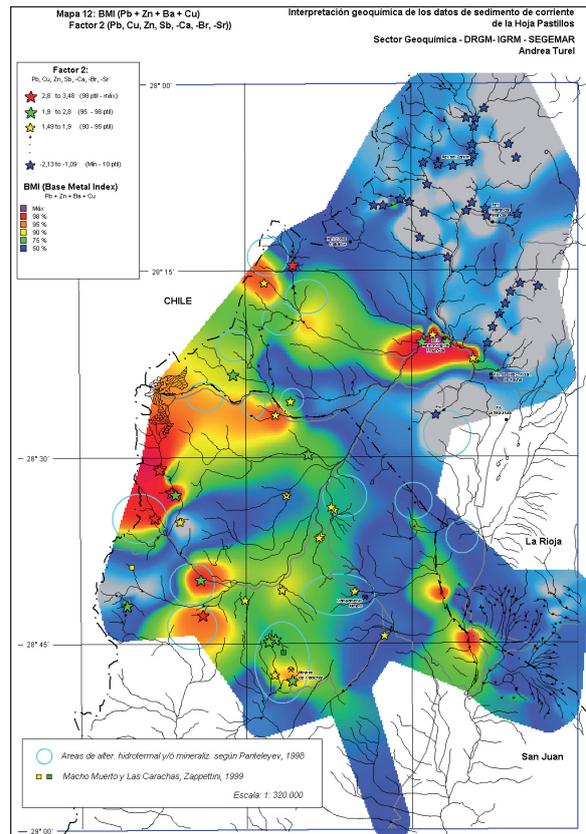


Figura 53 (Mapa 12): Índice de mineralización, BMI + Factor 2

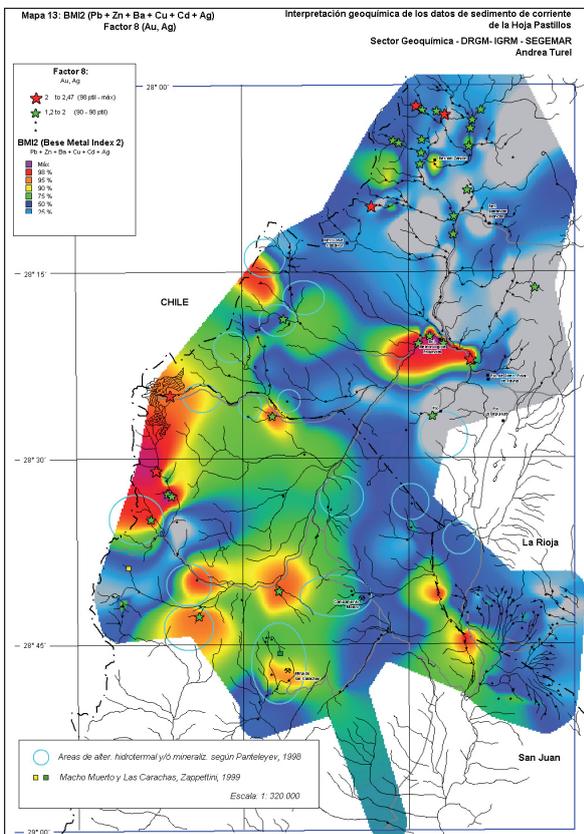


Figura 54 (Mapa 13): Índice de mineralización, BMI2 + Factor 8

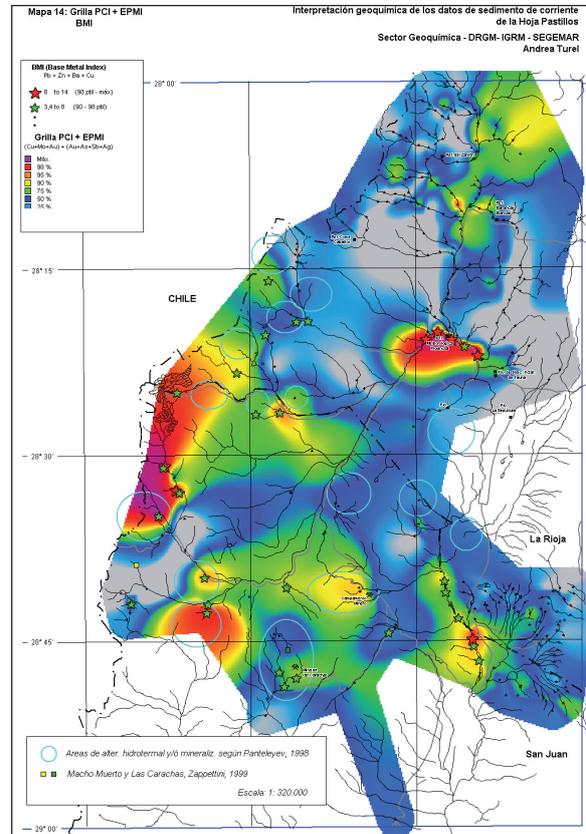


Figura 55 (Mapa 14): Índice de mineralización, (Grilla PCI + EPMI) + BMI

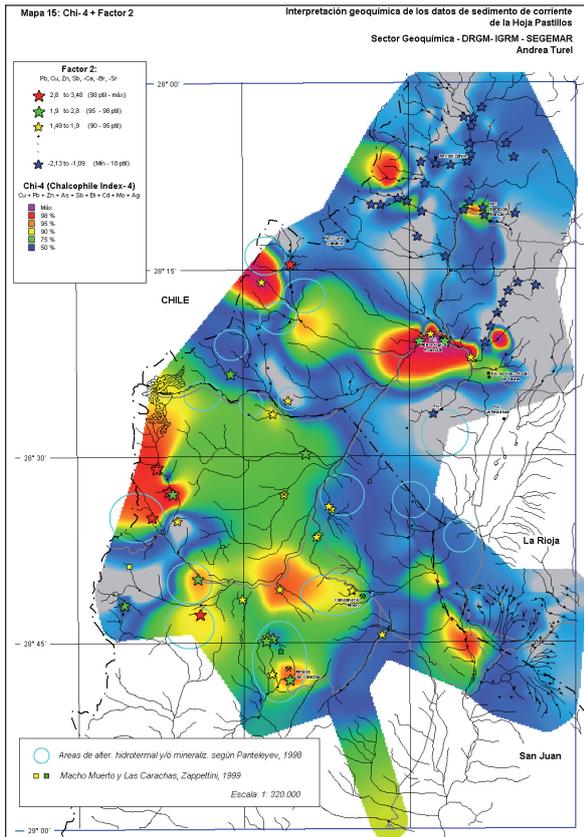


Figura 56 (Mapa 15): Índice Chi-4 + Factor 2

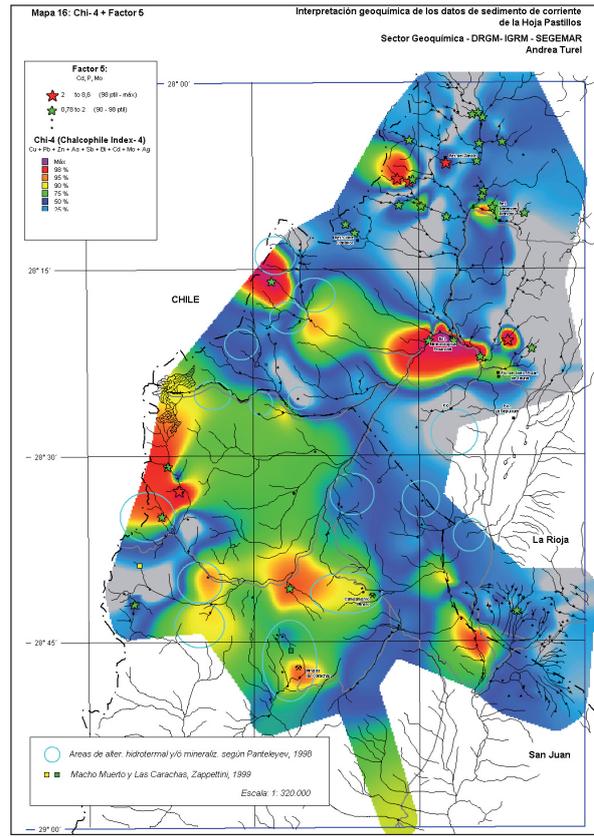


Figura 57 (Mapa 16): Índice Chi-4 + Factor 5

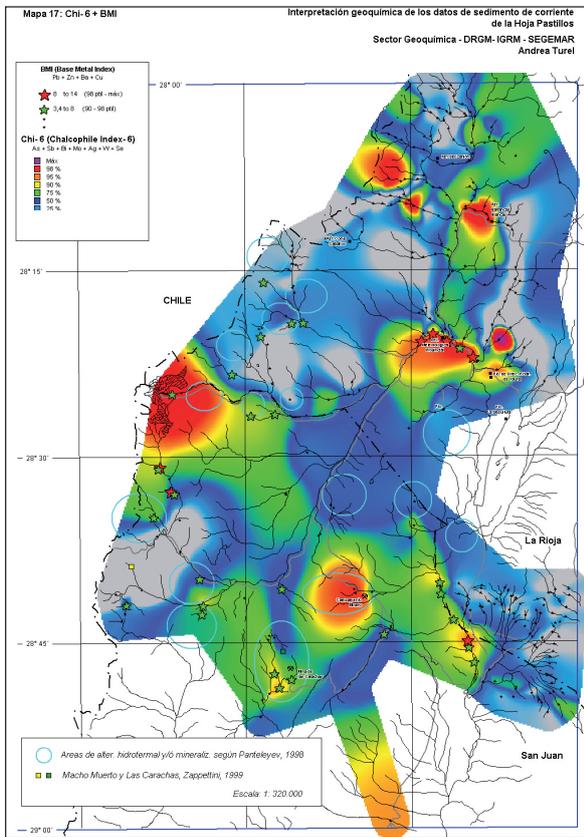


Figura 58 (Mapa 17): Índice Chi-6 + BMI

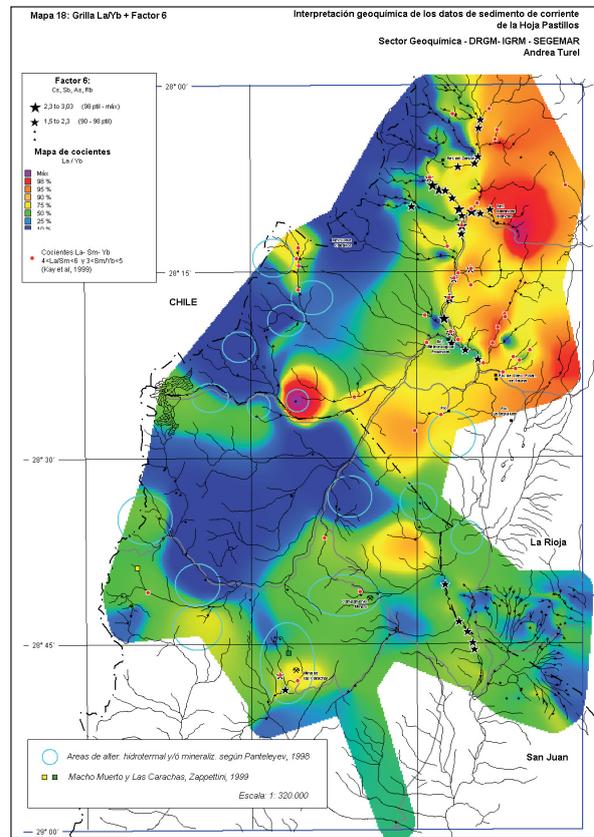


Figura 59 (Mapa 18): Cociente La/ Yb + Factor 6

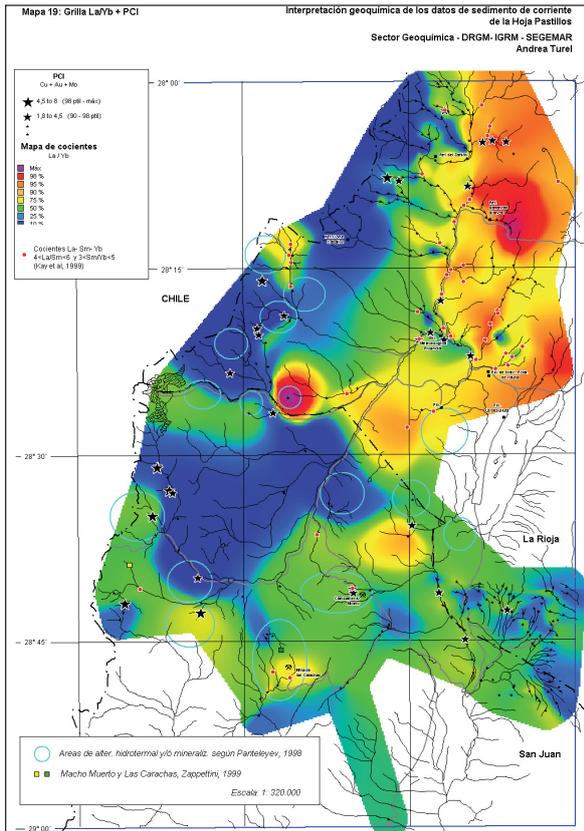


Figura 60 (Mapa 19): Cociente La/ Yb + PCI

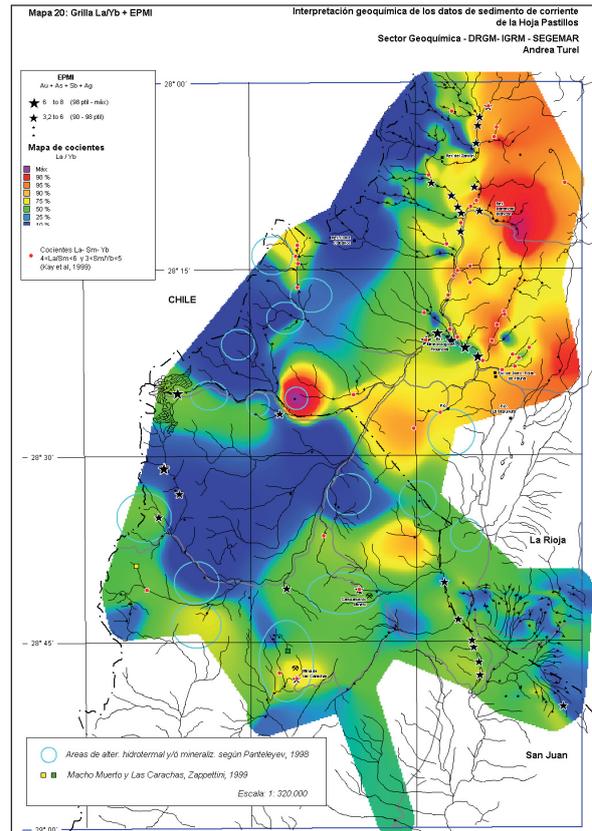


Figura 61 (Mapa 20): Cociente La/ Yb + EPMI

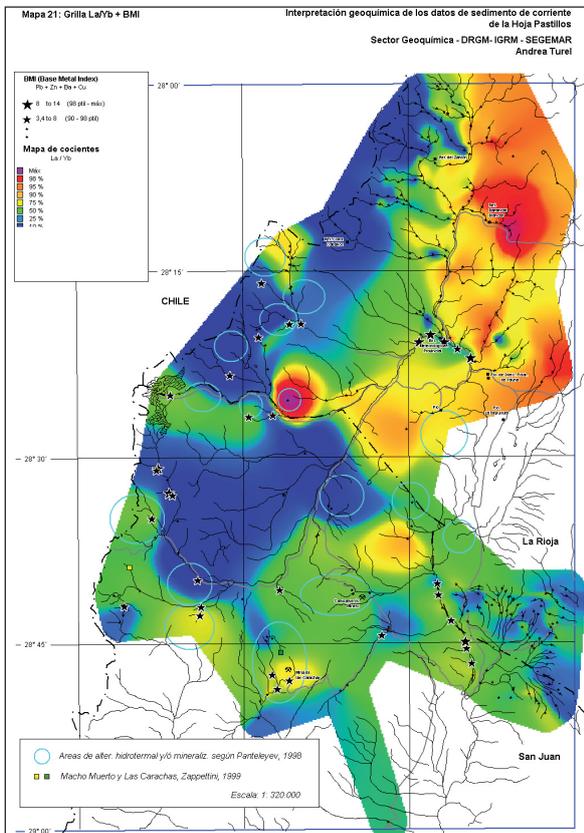


Figura 62 (Mapa 21): Cociente La/ Yb + BMI

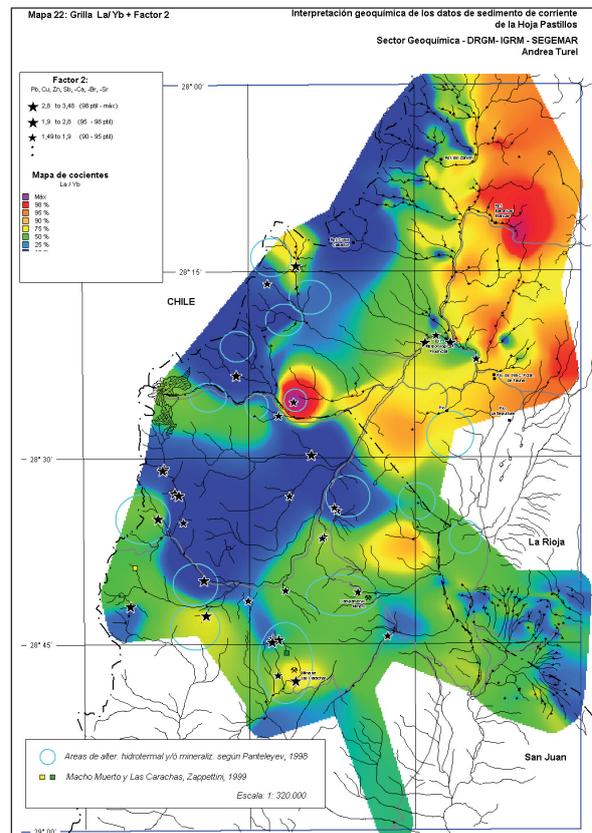


Figura 63 (Mapa 22): Cociente La/ Yb + Factor 2

del PCI (fig. 60, mapa 19). Se han destacado los sitios donde los cocientes La/Sm y Sm/Yb de las volcanitas de la Faja Maricunga contienen los pórfiros auríferos, según Kay *et al.* (1999). Los mismos coinciden con áreas donde el cociente La/Yb presenta valores intermedios, superiores a los corteza de espesor "normal" y sin alcanzar los máximos de las volcanitas más modernas. Se hace notar que si bien estos cocientes son calculados en sedimentos de corriente y no sobre muestras de roca, y teniendo en cuenta la variedad litológica que involucran, los mismos intentan ser orientativos, y aportar una herramienta de tipo exploratorio a escala regional.

3.5. HISTORIA METALOGENÉTICA

La historia metalogenética del área comenzaría con la importante actividad magmática del ciclo Gondwánico, caracterizado por una secuencia volcano-plutónica de arco. Con la finalización de la fase orogénica San Rafael, se desarrolla una etapa de distensión vinculada a episodios postcolisionales que da lugar a un régimen de tipo extensional, al que se asocian secuencias riolíticas postorogénicas y granitos postcolisionales. Para Llambías (1999) el magmatismo forma parte de un arco magmático de rumbo norte-sur implantado principalmente en la Cordillera Frontal y en el borde noroccidental de la Precordillera, donde se adosan ambas unidades. El magmatismo conlleva un episodio metalogenético evidenciado por mineralizaciones de cobre (Au?) cuyo potencial económico está siendo explorado.

En la región, emplazada en la denominada Zona Volcánica Central durante el desarrollo de los episodios ándicos, la actividad volcánica es reconocida desde el Paleógeno en el Valle del Cura (Limarino *et al.*, 1999; Litvak y Page, 2002; Litvak y Poma, 2005), donde se identificaron tres eventos volcánicos paleógenos. En el área de la Carta Minero- Metalogenética Pastillos las sucesiones volcánicas incluyen tanto volcanitas paleógenas como también unidades equivalentes a la Unidad Doña Ana y en menor cantidad a la Formación Cerro de Las Tórtolas. Al este y norte existen grandes acumulaciones de unidades volcánicas más jóvenes - pliocenas y económicamente menos interesantes - y sedimentarias terrígenas y, en partes, cubierta aluvial espesa. Las rocas volcánicas más antiguas han sido profundamente

disectadas en varios lugares y exponen domos cogenéticos u otras intrusiones de nivel alto y sus cúpulas alteradas cercanas a la superficie. Para Panteleyev (1998), la mineralización de Au del área Ranchillos se relacionaría con los diques paleo-eocenos.

El ambiente geológico en la Alta Cordillera - con sus unidades volcánicas más jóvenes y más abundantes, como la unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas - es similar al de la Faja Maricunga, como lo señalaron Panteleyev y Cravero (2001). En conjunto, la zona referida como Faja El Potro puede ser considerada como una extensión austral de la Faja Maricunga, región que cuenta con un detallado mapeo y dataciones radimétricas de las unidades volcánicas. Allí, las sucesiones de estratovolcanes coalescentes y campos dómicos variablemente erosionados han sido divididas en seis pulsos magmáticos que varían en edad desde 26 a 5 Ma (Mpodozis *et al.*, 1995), pero se conocen solamente dos etapas portadoras de mineralización significativa: la Unidad Doña Ana de 26-21 Ma y la Formación Cerro de Las Tórtolas de 17-11 millones de años. Las edades de rocas hospedantes en la Faja El Indio al sur son similares, aunque en ese distrito Jannas *et al.* (1999) señalaron la importancia de edades de 8 a 6 Ma con mineralización epitermal de alta sulfuración.

En el área de la Alta Cordillera hay indicios de dos tipos principales de mineralización: pórfiros auríferos o aurífero-cupríferos y depósitos epitermales de metales preciosos (Panteleyev, 1998). Los pórfiros auríferos están asociados con *stocks* dioríticos a diorítico-cuarzosos de nivel alto, más cuerpos subvolcánicos andesíticos a dacíticos, en los que las cúpulas contienen conjuntos de vetas estrechas laminadas de cuarzo y fracturas silicificadas. Estos son los principales tipos de depósitos en la Faja Maricunga (Chile).

Entre los episodios gondwánicos y ándicos, existen datos aislados de edades radimétricas tanto cretácicas como paleoceno-eocenas difíciles de enmarcar en la historia metalogenética. La edad cretácica de un intrusivo en El Potro no registra antecedentes, pues no se conocían rocas intrusivas de esa edad. De ser así, existe la posibilidad de que aparezcan en la región cuerpos similares con mineralización de Cu-Mo asociada, como se sostiene en JICA-MMAJ

(1999b) para el prospecto El Potro, o sistemas epitermales de baja sulfuración tipo El Bronce (Au-Cu) en Chile. La edad paleoceno-eocena ($52,3 \pm 0,9$ Ma) de los diques riolíticos mineralizadores en el área Ranchillos, mencionada en Panteleyev y Cravero (2001), tampoco registra antecedentes, ya que no se conocen intrusivos o rocas filonianas de esa edad en territorio argentino o chileno a la misma latitud.

3.6. CONCLUSIONES

Un mayor número de dataciones radimétricas permitirá precisar con exactitud los períodos de actividad magmática y su relación con la tectónica terciaria; el análisis que aquí se desarrolla proviene de los datos hasta el momento existentes -en una región objeto de continua exploración por parte de empresas mineras durante los últimos años-, sumado a la comparación con la geología y mineralización de prospectos en avanzado estudio en el vecino Chile.

Hasta el fin de la década del '90 no existían edades radimétricas publicadas sobre el área en estudio. Trabajos realizados posteriormente produjeron cierto número de edades K/Ar. Estos datos provienen de tres fuentes: JICA-MMAJ (1999b), Panteleyev y Cravero (2001) y SEGEMAR (Fauqué, 2000), a las que se remite al lector. Las dataciones de JICA-MMAJ aportaron los únicos datos conocidos sobre edades de alteración-mineralización en la región, y contribuyeron además al conocimiento del basamento granítico. Las dataciones de PASMA y SEGEMAR aportaron casi exclusivamente a la diferenciación estratigráfica del volcanismo terciario. Varias de las edades obtenidas no registran antecedentes en los eventos geológicos reconocidos, lo cual ilustra la complejidad de la región y lo invaluable del aporte de futuras dataciones, haciendo probable que nuevos datos radimétricos produzcan una revisión de los conceptos hasta ahora establecidos. Esto es así fundamentalmente al realizar análisis metalogénicos, en el intento de vinculación de los eventos magmáticos y los mineralizantes.

Las dataciones radimétricas indican períodos mineralizadores el Mioceno inferior, que afecta y es coetáneo con las Formaciones Tilito-Escabroso, y el Mioceno medio, relacionado con la Formación Cerro de Las Tórtolas. Por lo

hasta ahora conocido no habrían sucedido eventos mineralizantes más jóvenes que 15 millones de años. El área pertenecería al extremo sur de la Faja Maricunga; si aparecieran cuerpos más jóvenes asociados a fenómenos de alteración-mineralización se apoyaría la consideración de que la región es una zona de transición entre las Fajas El Indio y Maricunga. La existencia de un pulso mineralizador de edad triásica es incierta, y restringida al cordón de la Brea.

En la región de la Carta es posible la presencia de sistemas porfíricos y epitermales de edad oligoceno-miocena (23 Ma) y otros similares ocurridos en los comienzos del volcanismo de la Formación Cerro de las Tórtolas (17 Ma). En el área de Peñas Negras ambos sistemas estarían superpuestos y hospedados en la Unidad Doña Ana.

Stocks más jóvenes (como el mencionado en Los Mogotes, 15,3 Ma) y los que cortan a la Formación Cerro de las Tórtolas en los prospectos Ritzuko y Río Blanco, no habrían desarrollado sistemas porfíricos ni mineralizaciones relacionadas.

Dado que la interpretación de imágenes satelitales, conocidas con posterioridad a los reconocimientos de campo, indica la presencia de sectores con alteración arcillosa avanzada y amplias zonas de alteración sericítica que no fueron oportunamente investigadas, se recomienda: en Pastos Largos, el reconocimiento de alteración arcillosa avanzada y sericítica en el sector norte; en Barreales de Ranchillos el reconocimiento de alteración arcillosa avanzada y sericítica en el sector sur; y en Quebrada de Arriba y Cordillera de Santa Rosa, comprobar la presencia de alunita y/o cuarzo (fajas silicificadas) en las rocas graníticas allí aflorantes.

Como **metalotecto positivo** se reconocen, en el tramo septentrional del cordón de la Brea, el control estructural de las zonas de alteración y silicificación. La tectónica pre-terciaria fue preferentemente NO-SE, rumbo común de los diques de riolita, los lamprófiro y la mayoría de las fajas silicificadas, mientras que la tectónica terciaria es casi exclusivamente NE-SO. Por lo tanto, en conjunción con lo expresado más arriba, se supone un período mineralizador permo-triásico controlado por estructuras NO-SE y otro terciario controlado por esas mismas estructuras reactivadas y nuevas de rumbo NE-SO. La intersección de fracturas NO-SE con

otras NE-SO es, en el estado actual de conocimientos, el metalotecto positivo en la búsqueda de áreas de alteración-mineralización relacionadas al magmatismo terciario. Las imágenes JERS muestran el contraste entre las alteraciones lineales según esas direcciones que aparecen en el cordón de la Brea y las de tendencia circular que predominan en el cordón Limítrofe.

Con respecto al potencial metalogenético del volcanismo de retroarco eoceno, en el Valle del Cura (San Juan) se reconocen tres episodios volcánicos paleógenos (Litvak y Poma, 2005). En el área de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos las sucesiones volcánicas incluyen tanto volcanitas paleógenas como también unidades equivalentes a la Unidad Doña Ana y en menor cantidad a la Formación Cerro de Las Tórtolas. Al este y norte existen grandes acumulaciones de unidades volcánicas más jóvenes -pliocenas y económicamente menos interesantes- y sedimentarias terrígenas y, en partes, cubierta aluvial espesa. Las volcanitas de retroarco presumiblemente eocenas se apoyan en discordancia sobre rocas sedimentarias paleozoicas principalmente, y en forma local infrayacen las extensas sucesiones volcánicas que forman la mayor parte de los Andes altos y son equivalentes a la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas. Estas rocas volcánicas más antiguas han sido profundamente disectadas en varios lugares y exponen domos co-genéticos u otras intrusiones de nivel alto y sus cúpulas alteradas cercanas a la superficie (por ejemplo La Ollita). En este ambiente se prevé que el estilo de mineralización predominante sea de tipo pórfiro, posiblemente con procesos de superposición localmente desarrollados o laterales (alta sulfuración). Este es el caso de Los Mogotes y posiblemente de los prospectos de la Faja El Potro.

En cuanto al potencial metalogenético del volcanismo neógeno, el ambiente geológico en la Alta Cordillera - con sus unidades volcánicas más jóvenes y más abundantes, como la Unidad Doña Ana y la Formación Cerro de Las Tórtolas - es similar al de la Faja Maricunga, como se indicara en Panteleyev y Cravero (2001). La zona referida como Faja El Potro, en el área de la Carta, puede ser considerada como una extensión austral de la Faja Maricunga, donde

las sucesiones de estratovolcanes coalescentes y campos dómicos variablemente erosionados han sido divididas en seis pulsos magmáticos que varían en edad desde 26 a 5 Ma (Mpodozis *et al.*, 1995), pero se conocen solamente dos etapas portadoras de mineralización significativa: la Unidad Doña Ana de 26-21 Ma y la Formación Cerro de Las Tórtolas de 17-11 millones de años. Las edades de rocas hospedantes en la Faja El Indio al sur son similares, aunque en ese distrito Jannas *et al.* (1999) señalaron la importancia de edades de 8 a 6 Ma con mineralización epitermal de alta sulfuración.

En el área hay indicios de dos tipos principales de mineralización: pórfiros auríferos o aurífero-cupríferos y depósitos epitermales de metales preciosos (Panteleyev, 1998). Los pórfiros auríferos están asociados con *stocks* dioríticos a diorítico-cuarzosos de nivel alto, más cuerpos subvolcánicos andesíticos a dacíticos, en los que las cúpulas contienen conjuntos de vetas estrechas laminadas de cuarzo y fracturas silicificadas. Estos son los principales tipos de depósitos en la Faja Maricunga, Chile.

Los depósitos de oro-plata con mayor posibilidad de hallazgo en la región son aquellos similares a los depósitos epitermales de alta sulfuración hallados en Chile en el distrito El Indio al sur y el depósito La Coipa en el norte de la Faja Maricunga (Panteleyev, 1998). Estos depósitos consisten en sistemas de vetas, vetas de cuarzo-oro y vetas ricas en enargita, brechas hidrotermales y diatremas, estratoligados o cuerpos tabulares controlados por permeabilidad litológica primaria, y mineralizaciones diseminadas con control estructural.

Jones *et al.* (1996) también señalaron la posibilidad que el extremo sur de la Faja Maricunga coincida con el área de Macho Muerto. En el estudio de JICA-MMAJ (1999b) el análisis de la edad metalogenética K-Ar de las zonas de mineralización de Macho Muerto indica que la edad de Los Mogotes es de $17,1 \pm 0,4$ Ma y la de Filo Amarillo es de $23,1 \pm 0,6$ millones de años. Este resultado coincide con los datos de los yacimientos conocidos de la Faja Maricunga y sustenta la interpretación de Jones *et al.* (1996).

En cuanto a los modelos de depósitos esperables en el área de la Carta serían sistemas

porfíricos de Cu-Au y de Cu-Mo-Au en los prospectos de la Faja El Potro (Cerro Caserones, La Vicuña, La Ollita, Río Tamberías, Río Bermejo, El Potro, Vicuña, Los Mogotes) y sistemas de alta sulfuración en el cordón del Inca. Al este de la Faja El Potro, siempre en el cordón Limítrofe, puede esperarse el desarrollo de mineralizaciones más jóvenes relacionadas con la Formación Cerro de Las Tórtolas. En el cordón de la Brea, se desarrollarían tanto mineralización vetiforme como sistemas porfíricos relacionados con rocas terciarias, en tanto que Los Sapitos y Barreales de Ranchillos, con mineralización aurífera, son zonas de alteración relacionadas a cuerpos andesítico-dacíticos intrusivos que afectan a las sedimentitas paleozoicas.

Con respecto a los sistemas de tipo pórfiro de Cu-Mo-Au, puede considerarse que El Potro y Los Mogotes son de relativa futura importancia económica. Para el hallazgo de yacimientos epitermales de alta sulfuración, el área que genera mejores expectativas es el triángulo La Flecha - Filo Amarillo - Cordón del Inca, donde aparecen los sistemas de alta sulfuración mejor desarrollados, de 20-23 millones de años.

Debe señalarse también que los informes de JICA-MMAJ (1999b) aportaron información, a partir del análisis de algunas edades metalogenéticas, que suscitan controversias. La sericita y biotita de El Potro tienen edades K-Ar de $73,7 \pm 1,2$ Ma y $88,9 \pm 1,4$ Ma, respectivamente (Cretácico superior), que resultan comparables con la edad de alteración del yacimiento chileno El Bronce (79-88 Ma). Así, estos informes establecieron que la formación de los yacimientos de tipo pórfiro de Macho Muerto tuvo dos fases, una del Cretácico superior y otra del Neógeno. Cabe recordar que en la Cordillera Oriental Andina las rocas ígneas cretácicas están presentes en la Formación El Pachón (andesitas y riolitas) en la Cordillera Principal; sin embargo no se ha identificado su presencia en Macho Muerto. La mineralización de edad cretácica, como sugieren los informes de JICA-MMAJ (1999b), resulta un fenómeno aislado, difícil de ubicar metalogenéticamente. Las relaciones de campo son poco claras y si bien en estos trabajos se muestreó y dató el intrusivo cuarzo-diorítico, resta la datación de los pórfiros dacíticos que aparecen al sur y norte de la quebrada pues posiblemente con ellos se relacione la mineralización.

4. FICHAS MINA

N°	Distrito	Depósito	UBICACIÓN		Modelo de depósito	Edad	Estilo	Mineralogía	Alteración	ROCA HUÉSPED			DATOS ECONÓMICOS	
			Latitud	Longitud						Unidad	Litología	Edad	Reservas	Leyes
COBRE														
1		Josemaría	28°26'28"	69°33'07"	4b-pórfiro de cobre	Mioceno	Diseminado y venillas	Py, Cp, Mag, Hem, Bo, Cc, Cv, Q	Kz, Qserz, Arcz, Aavz, Propz	Unidad Doña Ana	Pórfiro granodiorítico	Mioceno	460 Mt inferidos	0,39% Cu, 0,30 g/t Au
PLOMO-CINC-PLATA														
2	Las Carachas	La Negra, La Argentina, San Mateo, Josefina, Maruja, Ana María, Arroyo Sur, Crucero	28°48'01"	69°25'48"	14c-polimetálico simple	Mioceno medio	Vetas, relleno de estructuras de tensión	Ga, Esf, Py, Cp, Poi, Ttr, Cer, Az, Mi, Q, Oxfe, Ba, Gyp	Arcz, Serz, Sliz	Unidad Doña Ana	Andesitas y dacitas del Miembro Tilito (La Negra); pórfiro dacítico del Miembro Escabroso (La Argentina), brecha intrusiva del Miembro Escabroso (Ana María)	Oligoceno superior-Mioceno inferior	La Negra: 8.000 t posibles, 12.000 t probables, 80.000 t "hipotéticas", La Argentina, Sur, San Mateo, La Josefina y Maruja: 12.000 t posibles	La Negra: 12,3% Pb, 7,6% Zn, 0,057% Ag; La Argentina, Sur, San Mateo, La Josefina y Maruja: 12% Pb, 520 g/t Ag

Abreviaturas: Az: azurita; Ba: baritina; Bo: bornita; Cc: calcosina; Cer: cerusita; Cp: calcopirita; Cv: covellina; Esf: esfalerita; Ga: galena; Gyp: yeso; Hem: hematita; Mag: magnetita; Mi: malaquita; Oxfe: minerales oxidados de hierro; Poi: polibasita; Py: pirita; Q: cuarzo; Ttr: tetraedrita.

arcillosa avanzada; Arcz: arcillosa; Kz: potásica; Propz: propilitica; Qserz: cuarzo-sericitica; Serz: sericitica; Sliz: silicea

Alteraciones: Aavz:

5. BIBLIOGRAFÍA

- Amor, S., Bloom, L. y Ward, P., 1998. Data Analysis, Cap. V., in: Practical Application of Exploration Geochemistry, Prospectors and Developers Association of Canada.
- Bahlburg, H. y Hervé, F., 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and north Chile. *Geological Society of America*, 109 (7): 869-884.
- Bissig, T., Clark, A. H., Lee, J. K. W. y Heather, K. B., 2001. The Cenozoic history of volcanism and hydrothermal alteration in the Central Andean flat-slab region: New ^{40}Ar - ^{39}Ar constrains from the El Indio-Pascua Au (-Ag, Cu) belt, 29°20'-30°30' S. *International Geology Review*, 43: 312-340.
- Caminos, R., Limarino, C. y Fauqué, L., 1996. Estratigrafía de la Formación Ranchillos (Carbonífero superior-Pérmico) en las sierras de Los Veladeritos y del Peñón (Cordillera Frontal de La Rioja). Reunión Anual del Grupo Argentino de Trabajo del Paleozoico Superior: 30-31. Buenos Aires.
- Cevinelli, H., 1986. Ficha mina La Negra. Distrito Las Carachas. SEGEMAR. Delegación San Juan. Inédito. San Juan.
- Cevinelli, H., 1987. Mina La Negra. Distrito Minero Las Carachas. SEGEMAR. Delegación San Juan. Inédito. San Juan.
- Cevinelli, H. y Petrelli, H., 1986. Ficha Distrito Las Carachas. Minas La Argentina, Sur, San Mateo, La Josefina y Maruja. SEGEMAR. Delegación San Juan. San Juan.
- Cravero, O., 1995. Informe preliminar de la Carta Minero-Metalogenética Pastillos. Resumen y conclusiones de 12 áreas de alteración visitadas. SEGEMAR. Delegación La Rioja. Inédito. La Rioja.
- Cravero, O., 1999. Prospectos auríferos de Peñas Negras, La Rioja. En: Recursos Minerales de la República Argentina. (Ed.: E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Anales 35:1343-1347. Buenos Aires.
- Cravero, O. V., 2004. Ficha de actualización. Distrito minero "Las Carachas". SEGEMAR. Delegación La Rioja. La Rioja.
- Fauqué, L., 2000. Mapa Geológico de la Hoja Pastillos (2969-I), República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales-SEGEMAR. Escala 1:250.000.
- Ferpozzi, L., Turel, A., Cravero, O. y Carrizo, R., 2005. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente del Plan La Rioja Geológico-Minero. Hoja 2969- I, Pastillos, Provincias de La Rioja y San Juan. Contribución Técnica Geoquímica 32. SEGEMAR – JICA MMAJ.
- Godeas, M., Pezzutti, N., Nullo, F. y Otamendi, J., 1993. Caracterización Petrográfica y Geoquímica del Volcanismo Terciario en el Área del Río Taguas (Formaciones Doña Ana y Cerro de Las Tórtolas), San Juan. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas, 4: 216-224. Mendoza.
- Groeber, P., 1951. La Alta Cordillera entre las latitudes 34° y 29° 30'. *Revista del Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Geología* 1 (5): 235-352.
- Grunsky E., 2000. Strategies and numerical techniques for the evaluation of geochemical data.
- Gustafson, L. B. y Hunt, J. P., 1975. The porphyry copper at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 90: 857-912.
- Hedenquist, J. W., Arribas, R. A. y González-Urrien, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *SEG Reviews*, 13: 245-277.
- Jannas, R. R., Bowers, T. S., Petersen, U. y Beane, R. E., 1999. High-sulphidation deposit types in the El Indio District, Chile. En *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Society of Economic Geologists, Special Publication, 7: 219-266.
- Japan International Cooperation Agency-Metal Mining Agency of Japan (JICA-MMAJ), 1999a. Data book of deposits and mineralizations in the Eastern Andes Área, Argentine Republic. Subsecretaría de Minería. Secretaría de Industria, Comercio y Minería. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Inédito. Buenos Aires.
- Japan International Cooperation Agency-Metal Mining Agency of Japan (JICA-MMAJ), 1999b. Informe de la exploración minera en la región de la Cordillera Andina, República Argentina. SEGEMAR. Inédito. Buenos Aires.
- Jones, J. P. y Martínez, R. D., 2007. Aspectos regionales de nuevos sistemas porfíricos en Argentina, desde Salta hasta Mendoza. En: *Exploración Minera en Argentina: Descubrimientos, Mineralizaciones y Estilos*. Ed. Diana I. Mutti. Asociación Argentina de

- Geólogos Economistas. Publicación Especial Nº 1, 21-30. Buenos Aires.
- Jones, J. P., Martín, R. D. y Rosello, E., 1996. La Faja volcánica terciaria del Valle del Cura (San Juan, Argentina). Sus posibles continuidades y potencial para localizar World Class Deposits. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 55-71. Buenos Aires.
- Kay, S. M., Mpodozis, C., Ramos, V. A. y Munizaga, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with shallowing zone and thickening crust in the central Andes (28° to 33°S). Harmon, R. S. and Rapela, C. W. (Eds.). Andean magmatism and its tectonic setting. Geological Society of America, Special Paper 265: 113-137, Boulder.
- Kay, S. M., Mpodozis, C. y Coira, B., 1999. Neogene Magmatism, Tectonism and Mineral Deposits of the Central Andes (22 to 33° S Latitude). Geology and Ore Deposits of the Central Andes. Society of Economic Geologists, Special Publication 7: 27-59.
- Litvak, V. y Page, S., 2002. Nueva evidencia cronológica en el Valle del Cura, provincia de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 57 (4): 483-486.
- Litvak, V. y Poma, S., 2005. Estratigrafía y facies volcánicas y volcánoclasticas de la Formación Valle del Cura: magmatismo paleógeno en la Cordillera Frontal de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 60 (2): 402-416.
- Limarino, C., Gutiérrez, P., Malizia, D., Barreda, V., Page, S., Ostera, H. y Linares, E., 1999. Edad de las secuencias paleógenas y neógenas de las cordilleras de La Brea y Zancarrón, Valle del Cura, San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 54 (2): 177-181.
- Llambías, E. J., 1999. Las rocas ígneas gondwánicas. En: Geología Argentina. (Ed. R. Caminos). Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (14): 349-376. Buenos Aires.
- Llambías, E. J. y Sato, A. M., 1990. El batolito de Colangüil (29-31° S). Cordillera Frontal de Argentina: estructura y marco tectónico. Revista Geológica de Chile, 17: 99-108.
- Llambías, E. y Sato, A. M., 1995. El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 50 (1-4): 111-131.
- Maksaev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C. y Nasi, C., 1984. Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior entre la Alta Cordillera del Norte Chico (29°-31° S), Geología, alteración hidrotermal y mineralización. Revista Geológica de Chile, 21: 11-51.
- Marcos, O., Faroux, R., Alderete, M., Guerrero, M. y Zolezzi, R., 1971. Geología y prospección geoquímica de la Cordillera Frontal en la provincia de La Rioja. Centro Argentino de Geólogos, 1º Simposio Nacional de Geología Económica, 2:305-318. San Juan.
- Martin, M. W., Clavero, J. y Mpodozis, C. M., 1997. Eocene to Late Miocene magmatic development of El Indio belt, 30° S, North-Central Chile. 8º Congreso Geológico Chileno, Actas, I: 149-153. Antofagasta.
- Menoyo, E., 1987. Apreciaciones económicas del distrito minero "Las Carachas". Prov. de San Juan. Departamento Iglesias. COMARCA. Consultores Mineros Asociados. Informe privado. 33 pág. Buenos Aires.
- Mpodozis, C. y Kay, S., 2003. Neogene tectonics, ages and mineralization along the transition zone between the El Indio and Maricunga mineral belts (Argentine and Chile 28°-29°). 10º Congreso Geológico Chileno, Actas, resumen CD, 1 p.
- Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S. M. y Tittler, A., 1995. La Faja de Maricunga: Síntesis de la Evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la Zona Sur de los Andes Centrales. Revista Geológica de Chile, 21 (2): 271-313.
- Muchino, J. E. y Miolano, A., 1970. Informe sobre la visita al distrito minero Los Piuquines y Las Carachas, mina "La Negra", "La Argentina", "Josefina", "Maruja", "San Mateo", "La Azul" y "Sur", Dpto. Iglesia, San Juan. Departamento Minería San Juan. Inédito. San Juan.
- Murici, J. y Menoyo, E., 1958. Las minas plumbo-argentíferas del distrito Las Carachas, San Juan. Banco Industrial de la República Argentina. Inédito. Buenos Aires.
- Nilsson, J. y Rossi, M., 2006. Preliminary Resource Estimate for the Josemaria Project, San Juan province, Argentina. Preparado para Tenke Mining Corporation por Nilsson Mine Services Ltd. Vancouver, British Columbia, Canadá.
- Nilsson, J. y Rossi, M., 2007. Exploration Update for the Josemaria Project, San Juan Province, Argentina. Preparado para Suramina Resources Inc. por Nilsson Mine Services Ltd. Vancouver, British Columbia, Canadá.

- Nullo, F. y Marín, G., 1992. Geología y estructura de las quebradas de la Sal y de la Ortiga, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 45 (3-4): 323-335.
- Otamendi, J., Nullo, F., Godeas, M. y Pezzutti, N., 1994. Petrogénesis del Volcanismo Terciario del Valle del Cura, San Juan, Argentina. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas, II: 1.130-1.135.
- Panteleyev, A., 1998. Yacimientos de la Alta Cordillera de La Rioja y San Juan: Faja del Potro y Cordón de la Brea, Summary Report on Field Program, in CD. March 5-27, 1998, Radiometric Dating, Analytical Results and Sample Documentation. PASMA.
- Panteleyev, A. y Cravero, O., 2001. Faja del Potro and Cordón de la Brea ore deposits, La Rioja and San Juan. Radiometric Dating, Analytical Results and Sample Documentation. Recursos Minerales No 11. Serie Contribuciones Técnicas. Servicio Geológico Minero Argentino. 59 pág. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., Kay, S. M., Page, R. y Munizaga, F., 1989. La Ignimbrita Vacas Heladas y el cese el volcanismo en el Valle del Cura, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 44 (1-2): 336-352.
- Ramos, V. A., Cristallini, E. O. y Pérez, D. J., 2002. The Pamean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 59-78.
- Remesal, M., Fauqué, L. y Limarino, C., 2004. Volcanismo calcoalcalino neopaleozoico en la Precordillera de La Rioja. Petrología y caracterización litoestratigráfica de la Formación Punta del Agua (Carbonífero superior-Pérmico inferior). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59 (3): 462-476.
- Reutter, K. J., 1974. Entwicklung und Bauplan der chilenischen Hachkordillere im Bereich 29° sudlicher Breite. *Neues Jahrbuch Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 146(2): 153-178, Stuttgart.
- Ríos Gómez, J., Bruna Novillo, J., Carrizo, M., de Francesco, G., Castelluccio, G., Carrizo, H. y Myers, J., 1997. Peña Negra Project 1996-1997 Exploration Report. Minera Eldorado SA. Informe inédito.
- Rode, M. y Carrizo, M., 2007. La faja de pórfidos del Salado, entre Valle Ancho y Vicuña: provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan. En: *Exploración Minera en Argentina: Descubrimientos, Mineralizaciones y Estilos*. Ed. Diana I. Mutti. Asociación Argentina de Geólogos Economistas. Publicación Especial N° 1, 31-50. Buenos Aires.
- Sato, A. M., Llambías, E. J., Shaw, S. y Castro, C. E., 1990. El batolito de Colangüil: modelo de magmatismo Neopaleozoico de la provincia de San Juan. 11° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 100-122. San Juan.
- Segal, S., 2001. Estudio de muestras del distrito Las Carachas. SEGEMAR-IGRM. Inédito. Buenos Aires.
- Smith, R. y Perdrix, J., 1983. Pisolitic Laterite Geochemistry in the Golden Grove massive sulphide district, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 18: 131-164.
- Smith, R., Perdrix, J. y Davis, J., 1987. Dispersion into Pisolitic Laterite from the Greenbushes Mineralized Sn-Ta Pegmatite System, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 28: 251-265.
- Steven, N. M., Heberlein, D., Williams, D. K., Pattison, A. D., Armstrong, R. A., Cordey, J. y Ullreich, M. F., 1998. The Morro Escondido Au Porphyry and Associated Mesothermal Veins System on the La Ortiga Property. The Southern Extension of the Maricunga Belt in Argentina. Pathways '98 Meeting, British Columbia and Yukon Chamber of Mines and Society of Economic Geologists, Extended Abstracts Volume, 219-221.
- TEA Compañía Minera, 1968. Geología de la Alta Cordillera de San Juan. Su prospección y áreas con posibilidades mineras. Departamento de Minería. Inédito. San Juan.
- Townley, B. K., 2000. Hidrotermalismo. Geología Económica. Departamento de Geología. Universidad de Chile. <http://cabierta.uchile.cl>
- Vila, T. y Sillitoe, R. H., 1991. Gold-rich Porphyry Systems in the Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, 86: 1238-1260.
- Zappettini, E. O., 1999. Evolución geotectónica y metalogénesis de Argentina. En: *Recursos Minerales de la República Argentina*. (Ed. E. O. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 51-73, Buenos Aires



SEGEMAR

Avenida Julio A. Roca 651 | 10° Piso | telefax 4349-4114/3115
(C1067ABB) Buenos Aires | República Argentina
www.segemar.gov.ar | info@segemar.gov.ar

ISSN 0328-2333

Es propiedad del SEGEMAR • Prohibida su reproducción