

DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS (TIPO VMS) EN LA CORDILLERA FUEGUINA, TIERRA DEL FUEGO

Silvia Ametrano¹, Ricardo Etcheverry¹, Horacio Echeveste¹,
Marta Godeas² y Mario Zubia²

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

El área se localiza entre los 54°30' y 55° de latitud sur y 67°30' y 68°40' de longitud oeste, en ámbito de la Cordillera Fueguina. Las manifestaciones se distribuyen en las sierras de Sorondo y Alvear. Los datos que se aportan en esta presentación se restringen a manifestaciones dentro del territorio argentino, desde la frontera con Chile al oeste, el lago Fagnano por el norte, hasta el canal de Beagle como se aprecia en las figuras 1 y 2.

LEYES

Las tareas de exploración llevadas a cabo por empresas privadas en los últimos años y publicados por Yamana Resources Inc. (1998) señalaron los valores obtenidos de perforaciones (tabla 1) para las manifestaciones Arroyo Rojo y Sargent.

En la mina Beatriz, Zubia *et al.* (1989a) presentaron las leyes, de alta variación, obtenidas de un muestreo en 14 canaletas de 1 m, cortando la lente y la caja, tal como se observa en la tabla 2.

HISTORIA DEL DISTRITO

DESCUBRIMIENTO, EXPLORACIÓN, PROPIETARIOS

Kranck (1932) realizó un estudio sistemático de ambas márgenes del canal de Beagle, recorriendo distintos sec-

tores cordilleranos y estableciendo la presencia de sulfuros (esfalerita, galena, calcopirita y pirita) en la comarca. En ese trabajo se refiere brevemente a las mineralizaciones localizadas en Bahía Yendegaia, costa este del lago Roca y Bahía San Juan.

Posteriormente, las tareas de reconocimiento desarrolladas a principios y durante la década del '80 en los Andes Fueguinos (Caminos *et al.*, 1981) posibilitaron, además de un mejor conocimiento geológico de la región, la determinación de varias anomalías de color (arroyo Los Castores, río Remolino-Túnel, bahía Sloggett, bahía Aguirre) y el relevamiento, descripción mineralógica e inicio de una interpretación metalogénica de la mina Beatriz, en las proximidades de Bahía Ensenada sobre el canal de Beagle (Zubia *et al.*, 1989 a y b). La manifestación polimetálica de esta mina fue objeto de un pequeño laboreo subterráneo exploratorio que se cree fue realizado hace más de 30 años.

A mediados de la década del '90, la empresa Yamana Resources Inc. (propietaria de los cateos englobados en el prospecto denominado Fin del Mundo) acordó un *joint venture* con Noranda y luego con Westmin, operadoras sucesivamente del prospecto. A partir de los trabajos realizados por este grupo hasta 1997, se pudieron determinar varios sectores portadores de mineralizaciones: Sargent, Arroyo Rojo, Diente de Tiburón y otros (figura 1). Estas empresas efectuaron tareas de prospección y exploración, que consistieron en perfiles electromagnéticos aerotransportados, trabajos geológicos de detalle, muestreos geoquímicos (sedimentos de corriente y esquirlas de rocas) y programas de sondeos en los blancos establecidos.

Según Yamana Resources (1998) se realizaron 14 sondeos, particularmente en Arroyo Rojo y Sargent. En la tabla 1 se presentan sucesivamente los resultados de las perforaciones AR 97/3, AR 97/5, AR 97/7, S 97/12 y S 97/9. Esta empresa posee otros sectores portadores de potenciales mineralizaciones polimetálicas (tipo VMS) y también de tipo

¹ Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Recursos Minerales.

² SEGEMAR.

	Potencia m	Cu %	Pb %	Zn %	Ag g/t	Au g/t
Arroyo Rojo	18,60	1	1,4	3		
Arroyo Rojo	0,40	0,5	5,3	4	0,46	0,96
Arroyo Rojo	17,90	0,2	1,8	4,5		
Sargent	0,30	1	10	27,5		
Sargent	1,30	3,9				

Tabla 1. Leyes en sondeos de Arroyo Rojo y Sargent.

	Potencia m	Cu %	Pb %	Zn %	Ag g/t	Au g/t
Beatriz	1	0,02-4,73	0,02-4	0,03-19	5-175	Vest.

Tabla 2. Leyes de la mina Beatriz, muestreo en canaletas.

epitermal de metales preciosos en territorio chileno, asociadas siempre a elementos volcánicos de edad jurásica (figura 1).

Una síntesis metalogénica más reciente fue llevada a cabo por Ametrano *et al.* (1998).

GEOLOGÍA REGIONAL

El ambiente geológico regional se caracteriza por un basamento metamórfico deformado representado por prismas acrecionados, asignados al Paleozoico superior. En la porción más austral de Sudamérica, en Tierra del Fuego, se desarrolló durante el Jurásico un episodio extensional (Dalziel *et al.*, 1974; Bruhn *et al.*, 1978; Dalziel, 1982) que originó una cuenca de retroarco. Durante su evolución se produjo la depositación de un potente volcanismo ácido (Formación Lemaire) que se intercaló con sedimentitas marinas, inicialmente de alta energía con una evolución hacia facies de ambientes más profundos representados por pelitas y lutitas en los tiempos del cese de la actividad volcánica ácida y que corresponden a la denominada Formación Yahgán (Kranck, 1932). Luego, cuando las condiciones de atenuación y fracturación fueron adecuadas comenzó el derrame de cuerpos y filones basálticos, que son la expresión más elocuente de la extensión en la cuenca de retroarco (Dalziel *et al.*, 1987).

En el territorio argentino el basamento sólo tiene expresión junto a la frontera con Chile (figura 2) y está representado por la Formación Lapataia (Camino, 1979). Las sedimentitas y volcanitas de esta cuenca de retroarco fueron afectadas luego por metamorfismo de bajo grado y deformación. Merece destacarse que la intercalación del episodio volcánico riolítico (Serie Tobífera, Thomas, 1949; Formación Lemaire, Borrello, 1969, 1972) en la secuencia volcanosedimentaria de retroarco tiene una amplia expresi-

ón en otros sectores de los Andes. La edad de las principales unidades de esta cuenca ha sido definida como triásica superior-cretácica. Rocas básicas oscuras a verdosas, también metamorfizadas, ubicadas en Paso Garibaldi y otras localidades, representan con rigor el período de rift según Dalziel (1981); hacia el oeste en territorio chileno han sido denominadas Rocas Verdes (Dalziel *et al.*, 1974) y otros autores las relacionan al Complejo Tortugas.

Completa la evolución un arco magmático constituido por plutonitas del Cretácico tardío-Terciario, momento en que se produce el cierre de la cuenca. Estas rocas conforman *stocks* y diques de composiciones variadas (granito-sienodiorita-diorita-hornblenditas?).

La configuración tectónica actual obedece a la orogénea andina cuyos efectos compresivos se manifiestan en las numerosas escamas tectónicas, limitadas por fallas inversas, que caracterizan a los Andes Fueguinos (figura 2). De acuerdo con Cingolani (1989), durante el Terciario se produce la migración del arco magmático y una progresiva deformación en profundidad, resultando estructuras de desplazamiento de rumbo y empuje, que conforman un cinturón plegado con frecuentes efectos de cizalla. Finalmente la región es bisectada por fallas transcurrentes.

En el Cuaternario se desarrollan fundamentalmente depósitos glaciares y aluviales, así como extensas llanuras de turba.

GEOLOGÍA DEL DISTRITO

LITOLOGÍA

En los sectores donde se han estudiado las manifestaciones metalíferas (figura 2), se reconocen las siguientes unidades estratigráficas: Metamorfitas Lapataia, Formación Yahgán, Formación Lemaire, rocas ultramáficas y basaltos en las inmediaciones de la mina Beatriz. Las Metamorfitas Lapataia son rocas del basamento asignadas al Paleozoico superior (?), que comprenden filitas, esquistos y gneises, con un grado correspondiente al de facies de anfíbolita.

En discordancia angular se dispone la potente sucesión de volcanitas y piroclastitas ácidas, probablemente depositadas en ambiente marino, que se asignan a la Formación Lemaire del Jurásico superior. La interdigitación con metasedimentitas de la Formación Yahgán se ha observado al pie del monte Susana sugiriendo una intrusión húmeda. Igual forma de emplazamiento describieron Pesce *et al.* (1996) hacia el este en la zona de Termas del Río Valdéz. Las volcanitas están afectadas por metamorfismo regional de bajo grado, con textura blastoporfirica. La pasta original ha recrystalizado a un agregado, en parte lepidogranoblástico, constituido predominantemente por cuarzo y sericita-moscovita, con escasa clorita y plagioclasa, y en ocasiones estilpnomelano. Los fenocristales relicticos son de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa. El cuarzo presenta con frecuencia una fuerte cataclasis, colas de presión, fluxión, extinción ondulosa e inclusiones puntuales y en trenes. La pasta recrystalizada a cuarzo

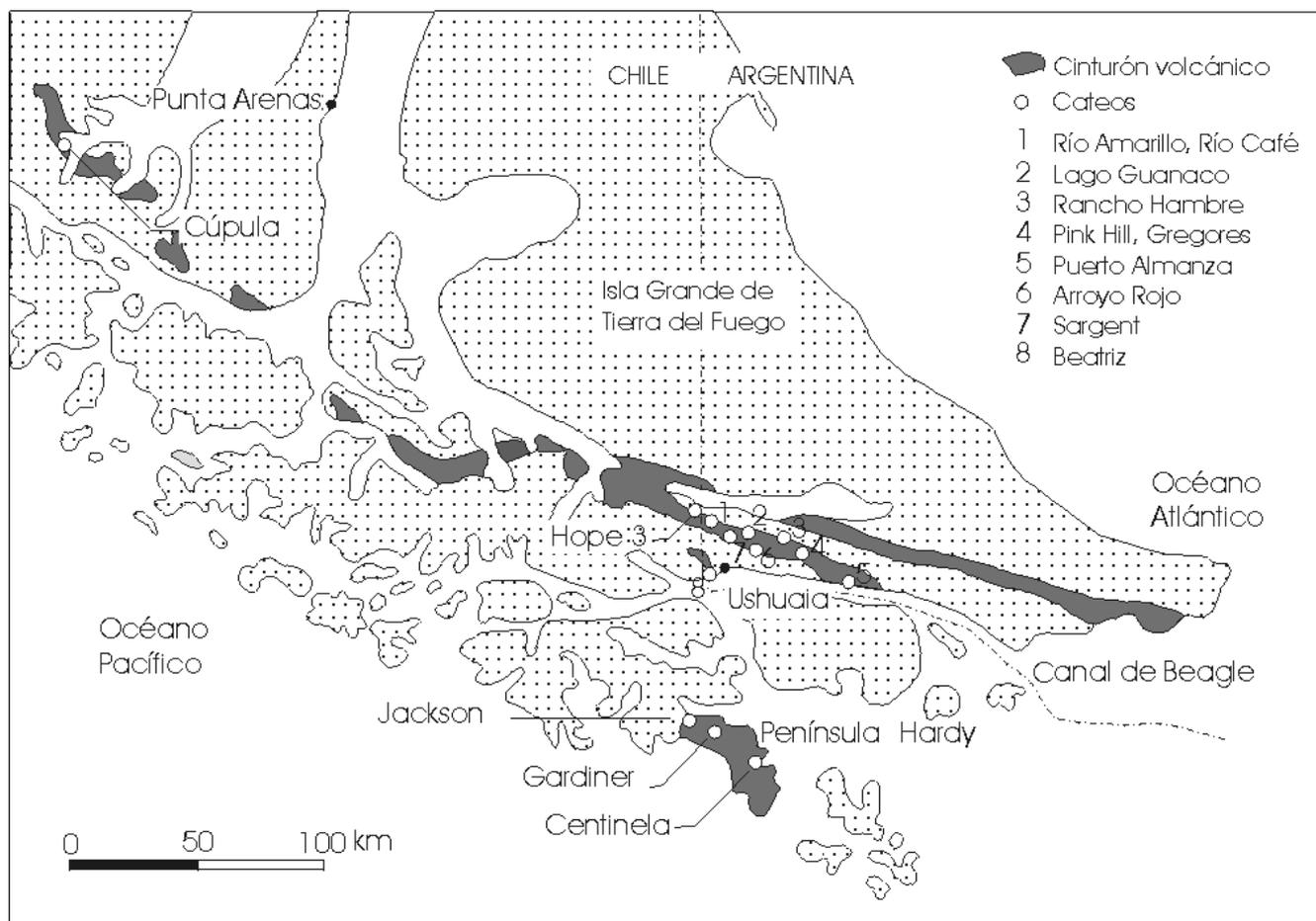


Figura 1. Sectores portadores de mineralización en los territorios argentino y chileno.

zo-sericita está con frecuencia bandeada y lenticulada. Como minerales neoforzados además se observan epidoto, titanita y prehnita, accesorios ígneos son la apatita y el circón. La pirita es frecuente, llegando a ser muy abundante generalmente en cristales automorfos y también como piritosferas; suelen estar rotados y acompañados por colas de presión. La composición mineralógica y química señala que se trata de riolitas, riolacitas y dacitas. La cantidad de sericita y pirita es variable, aumentando o disminuyendo ambas en conjunto. Las rocas están reemplazadas por sílice, resultando difícil precisar si este reemplazo es producto de silicificación. El metamorfismo sobrepuesto a estas metavolcanitas ha obliterado la clara identificación de alteraciones hidrotermales, a excepción de la piritización. En algunos sectores de los grandes domos de la sierra de Alvear se han observado algunos rasgos texturales microscópicos que podrían corresponder a facies ignimbríticas. La foliación en las metavolcanitas llega a ser muy conspicua.

Los datos geoquímicos de elementos traza confirman su pertenencia a un arco volcánico y el patrón de distribución de tierras raras corresponde al de riolitas de arcos volcánicos evolucionados. La alteración que estas rocas han sufrido por interacción con el agua de mar queda demostra-

da por la variabilidad en sus contenidos de MgO; Lentz (1996) señaló que valores superiores a 0,5 % MgO corresponden a volcanitas submarinas y los inferiores a subaéreas. Algunas riolitas habrían tenido una menor interacción con el mar.

En concordancia, y con pasajes transicionales e interdigitaciones, se presenta una sucesión de sedimentitas, piroclastitas riolacíticas e ignimbríticas del Cretácico inferior, correspondientes a la Formación Yahgán, que también ofrece evidencias de metamorfismo de bajo grado, facies prehnita-pumpellyita, así como intensa deformación. Las sedimentitas poseen características de turbiditas. Se trata pues de pizarras, filitas y areniscas, siendo frecuentes las pizarras negras en espesores de considerables que portan abundante pirita recristalizada, pirita framboidal relictica y grafito. Los efectos del metamorfismo y deformación también se manifiestan con claridad en esta secuencia. Las venas silíceas también son abundantes, variables en su potencia y generalmente de posición coherente con los clivajes pizarreños y foliación. Estas venas silíceas ponen con mayor claridad la deformación que afectó el conjunto, ya que por su diferente competencia suelen fragmentarse en rosarios.

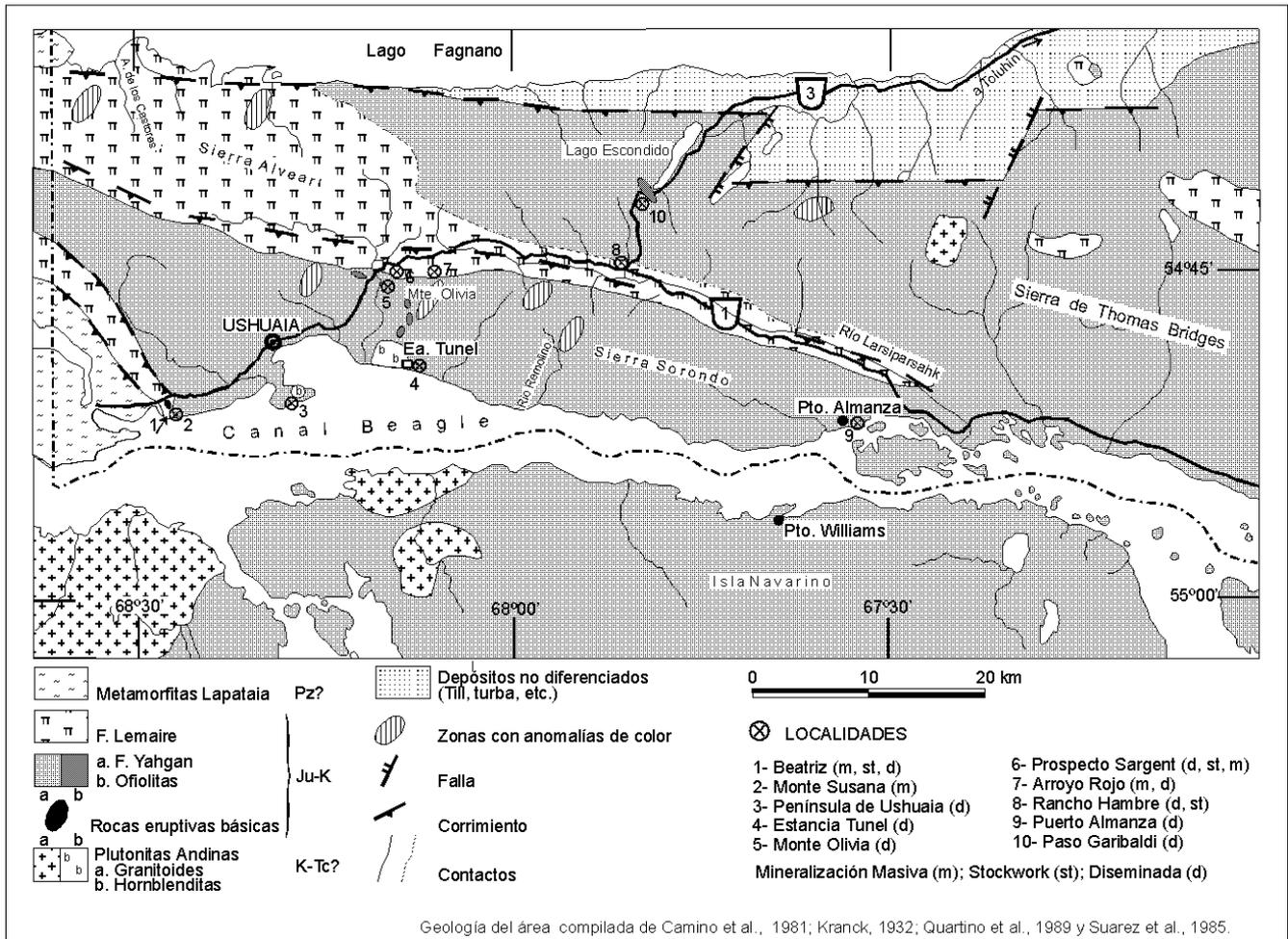


Figura 2. Marco geológico y ubicación de las manifestaciones reconocidas en la porción sur de Tierra del Fuego.

Quartino *et al.* (1989) denominaron a todo el conjunto litológico como “Complejo Deformado de los Andes Fueguinos”, con carácter informal, para referirse al paquete leptometamórfico y eruptivo sometido a plegamiento.

Al sur del canal de Beagle, en Chile, se ha reconocido un complejo ofiolítico (basaltos almohadillados, doleritas y gabros), que en parte infrayace a las turbiditas de la Formación Yahgán, denominado Complejo Tortuga por Suárez *et al.* (1985 a y b). La participación de estas rocas en los Andes Fueguinos ya había sido mencionada con anterioridad por Kranck (1932), Katz (1972) y Bruhn y Dalziel (1977). En el área del distrito, entre Monte Olivia y Lago Escondido, afloran rocas eruptivas oscuras a verdosas a las que Quartino *et al.* (1989) adjudicaron un rango tholeítico a calcoalcalino, en parte intrusivas y con características espiliticas. Rocas ultramáficas relativamente serpentinizadas afloran desde la estancia Túnel hasta la bahía de Ushuaia y también basaltos metamorizados sobre la Ruta 3. Haller y Delpino (1989) señalaron que estas litologías serían testimonios de una ofiolita desmembrada. En tanto, Acevedo (1996) y Olivero *et al.* (1997) consideraron a las hornblenditas y dioritas cuarzosas de la estancia Túnel como plutonitas andinas posttectónicas.

ESTRUCTURA Y DEFORMACIÓN

Con respecto a la estructura dominante, la misma se define como un intenso plegamiento volcado al noreste según un anticlinorio. Como ya se señaló, los efectos compresivos andinos generaron numerosas escamas tectónicas limitadas por fallas inversas (figura 2) que involucran el conjunto litológico de la cuenca de retroarco. También generó un dinamometamorfismo que produjo foliación, repliegamientos de diversas escalas, *boudinage* y cizallas. La secuencia tiene un rumbo dominante este-oeste e inclina monoclinamente hacia el sur. La foliación dominante es paralela a la estratificación primaria.

LAS MANIFESTACIONES POLIMETÁLICAS

En el mapa de la figura 2 se pueden observar las ubicaciones de los distintos tipos de manifestaciones que se han reconocido en la porción austral de la provincia de Tierra del Fuego algunas de ellas de apreciables dimensiones. Las mineralizaciones estudiadas son de tres tipos:

Tipo	Geometría	Litología huésped	Mineralogía	Textura y grano de la mena
Masiva > 60 % sulfuros	Lensooidal	*Metavolcanitas *Metasedimentitas en proximidades de cuerpos volcánicos. *Chert silíceo en lutitas negras	*Mayoritarios: pirita, esfalerita, calcopirita, galena. *Minoritarios: pirrotina, cobaltita *Accesorios: marcasita, arsenopirita, magnetita, tetraedrita, bournonita selenífera. *Secundarios: covelina, malaquita, azurita, "limonitas". *Ganga: muy escasa y constituida por cuarzo y algo de calcita. *Pirita ⇒	*Bandeada muy fina a gruesa, con escasos plegamientos disarmónicos. *Metamórficas: recristalización de pirita en megacristales poiquilíticos, textura "annealed", redistribución periférica de calcopirita "disease" en esfalerita. *Deformacionales: rotación de blastos de pirita, esfalerita; craquelamiento de pirita; fluxión de calcopirita y relleno de fracturas de pirita; "colas de presión" en torno a blastos de sulfuros: "menas milonizadas" *Cristales recristalizados de gran idiomorfismo, grano medio, en alta concentración (50-60% vs. SiO ₂). Piritosferas relicticas con cierta recristalización.
Stockwork	Venillas	Acompañada de ganga silícea en: *Metavolcanitas *Metasedimentitas	*Mayoritarios: calcopirita, pirita, esfalerita *Minoritarios: galena *Accesorios: cobaltita *Ganga: cuarzo	Texturas granulares de grano fino a medio propias del relleno de espacios abiertos.
Diseminada	Diseminación concentrada	*Metavolcanitas *Metasedimentitas, con mayor abundancia en pizarras negras	*Dominante: pirita *Escasos: pirrotina, esfalerita, galena, calcopirita.	Grano fino a grueso, en diseminación homogénea.

Tabla 3. Síntesis de las características de los tipos de mineralización.

Mineralización masiva: corresponde a cuerpos lenticulares polimetálicos, en los cuales los sulfuros comprenden más del 60% de los mismos. Poseen menas de mineralogía sencilla con texturas bandeadas a las que se adicionan los caracteres del metamorfismo sobrepuesto. La granulometría es variable, siendo la pirita el sulfuro de mayor respuesta a la recristalización metamórfica. Se alojan en cuerpos de metavolcanitas de la Formación Lemaire o en metasedimentitas de la Formación Yahgán que están en proximidades de cuerpos riolíticos. Existe en el área una mineralización masiva exclusivamente pirítica vinculada a un *chert* que se aloja en lutitas negras.

Mineralización tipo stockwork: consiste en venillas (máximo 3 a 5 cm) que se alojan tanto en metasedimentitas como en metarriolitas, a lo largo de planos de foliación o en estructuras tensionales. Son polimetálicas, de mineralogía sencilla con ganga silícea y escasamente carbonática. Sus longitudes son variables; en el caso de las alojadas en metavolcanitas constituyen en sectores intrincadas redes de intersección de las mismas.

Mineralización diseminada: se trata de altas concentraciones de sulfuros diseminados. El mineral presente es pirita recristalizada de gran tendencia al automorfismo y también piritosferas relicticas. Menos frecuente es pirrotina y más aún lo son esfalerita y calcopirita, halladas solamente en Puerto Almanza.

En las tablas 3 y 4 se presenta la síntesis de los tipos de mineralizaciones y de las distintas localidades.

Las manifestaciones Península de Ushuaia, Estancia Túnel y Paso Garibaldi no se han estudiado aún en profundidad. En todas ellas se observa mineralización diseminada en concentraciones variables en las rocas melanocráticas constituidas por ilmenita, rutilo, pirita, linneíta y calcopirita con clorita, epidoto y calcita como minerales de alteración (Acevedo, 1996). Cabe señalar que si bien el área de este relevamiento alcanza al este Puerto Almanza, Acevedo y Radoszta (1987) reconocieron manifestaciones piríticas hasta la bahía Buen Suceso sobre el estrecho de Le Maire.

ESTUDIOS GEOQUÍMICOS

Se han realizado análisis químicos de riolitas (ICP, FRX, AN), análisis de contenidos de metales (AN, AA, ICP) en esquireos para el *chert* pirítico al que además se le incluyó el análisis de ETR (Intertek T. Serv., Vancouver). Por otra parte se efectuaron numerosos análisis por microsonda electrónica (Universidad de Oviedo, España) en los sulfuros más abundantes.

En referencia al *chert* pirítico los ETR siguen un patrón semejante al de las riolitas. En tanto en el diagrama triangular (Cu+Co+Ni/Fe/Mn) de Bonatti (1975) para dis-

Mineralización	Tipo y dimensiones	Mena y ganga	Litología huésped	Alteración
Mina Beatriz	<p>*Masiva: lente sub-concordante de 18 m de longitud y potencia máx. de 0,8 metros. Con extremos desmembrados en venillas y desplazamiento de la lente por falla.</p> <p>*<i>Stockwork</i>: venillas de hasta 2-3 cm de espesor y longitudes de hasta 10 metros. Area cubierta por venillas = 1 km². Alojadas en planos de foliación y estructuras tensionales.</p> <p>*Diseminación</p>	<p>*Mayoritarios: calcopirita, esfalerita, galena, pirita.</p> <p>*Minoritarios y accesorios: pirrotina, cobaltita, arsenopirita, marcasita, magnetita, tetraedrita</p> <p>*Ganga: cuarzo, escasa calcita.</p> <p>*Mayoritarios: calcopirita, pirita.</p> <p>*Minoritarios y secundarios: esfalerita, galena, cobaltita, covelina, malaquita, azurita</p> <p>*Ganga: cuarzo</p> <p>*Pirita, piritosferas, grafito</p>	<p>*Areniscas y vaques de Formación Yahgán, a 200 m de intrusiones riolíticas interdigitadas con Formación Yahgán.</p> <p>*Metasedimentitas de Formación Yahgán y metarriolitas de Formación Lemaire.</p> <p>Formación Yahgán y Lemaire</p>	<p>*Obliterada por metamorfismo. Piritización ?, silicificación ?</p> <p>No</p> <p>No</p>
Pie del monte Susana, sobre la costa del canal de Beagle.	<p>*Masiva: <i>Chert</i> pirítico alojado en unos 15 m de espesor de pizarras negras. Reconocidos en la costa por más de 1 km, según el rumbo.</p>	<p>*Pirita recristalizada, piritosferas parcialmente recristalizadas que constituyen > 50 %.</p> <p>*Ganga: cuarzo</p>	<p>*En pizarras negras con abundantes intercalaciones concordantes de <i>chert</i> pirítico con microplegamientos y <i>boudinage</i></p>	<p>*Oxidación limonítica intensa.</p>
Monte Olivia	<p>*Diseminada según varios niveles de hasta 0,30 m de espesor, con concentraciones paralelas a la foliación y longitudes de hasta 10 metros</p>	<p>*Pirita de grano grueso, recristalizada y piritosferas.</p>	<p>*En pizarras negras</p>	<p>*Muy escasa oxidación limonítica.</p>
Sargent	<p>*Masiva en un afloramiento dentro de un circo glacial, con 20 cm de espesor y concordancia con la foliación.</p> <p>*<i>Stockwork</i> en laterales de banco masivo. Venillas de 0,5 cm y escaso recorrido y subparalelas a foliación</p> <p>*Diseminada en el área del prospecto en baja concentración.</p>	<p>*Pirita de grano muy grueso craquelada con calcopirita como relleno de sus fracturas.</p> <p>*Ganga: <i>chert</i> silíceo</p> <p>*Galena, esfalerita, pirita.</p> <p>*Ganga: silícea</p> <p>*Pirita fina</p>	<p>*En metarriolita</p> <p>*En metarriolita</p> <p>*Metarriolitas con foliación y pizarras negras.</p>	<p>*Oxidación limonítica intensa.</p> <p>*Escasa oxidación.</p> <p>*Escasa oxidación limonítica</p>
Arroyo Rojo	<p>*Masiva en lente aflorante de 120 m de largo y espesor máximo de 10 m subconcordante con foliación. El carácter lentiforme se estima controlado por la deformación del área.</p> <p>*Diseminada en las paredes de la lente masiva con concentraciones que disminuyen al alejarse de la lente masiva. Muy visible hasta 15 m de los bordes de la lente.</p>	<p>*Grano grueso, mena masiva milonitizada.</p> <p>*Mayoritarios: esfalerita, pirita, galena.</p> <p>*Minoritarios: calcopirita, tetraedrita, boulangerita.</p> <p>*Ganga: muy escasa sílice y carbonatos</p> <p>*Esfalerita y pirita de grano grueso.</p>	<p>*Metarriolita</p> <p>*Metarriolita</p>	<p>*Muy intensa oxidación limonítica. Los indicadores de alteración hidrotermal están obliterados por recristalización durante el metamorfismo: sericitización ?, cloritización ?, prehnita ?</p> <p>*Oxidación limonítica</p>
Rancho Hambre	<p>*<i>Stockwork</i> en guías de máximo 0,5 cm y corto recorrido.</p> <p>*Diseminada en concentraciones medias.</p>	<p>*Mayoritario: Pirita</p> <p>*Minoritarios: esfalerita, galena, calcopirita</p> <p>*Ganga: cuarzo.</p> <p>*Pirita fina</p>	<p>*Metarriolita</p> <p>*Metarriolita y más escasa en metasedimentitas.</p>	<p>*Obliterada por metamorfismo. Sericitización ?, piritización?</p> <p>*Idem</p>
Puerto Almanza	<p>*Diseminación fina en niveles paralelos a la foliación. Potencia aflorante 15 m a lo largo de 40 m de exposición.</p>	<p>Toda la diseminación presenta aplastamiento normal a la foliación</p> <p>*Mayoritarios: pirita, piritosferas, pirrotina.</p> <p>*Minoritarios: esfalerita, galena, calcopirita.</p>	<p>*Pizarras grises, moradas.</p>	<p>*Oxidación limonítica</p>

Tabla 4. Síntesis de las localidades con mineralización (mapa figura 2).

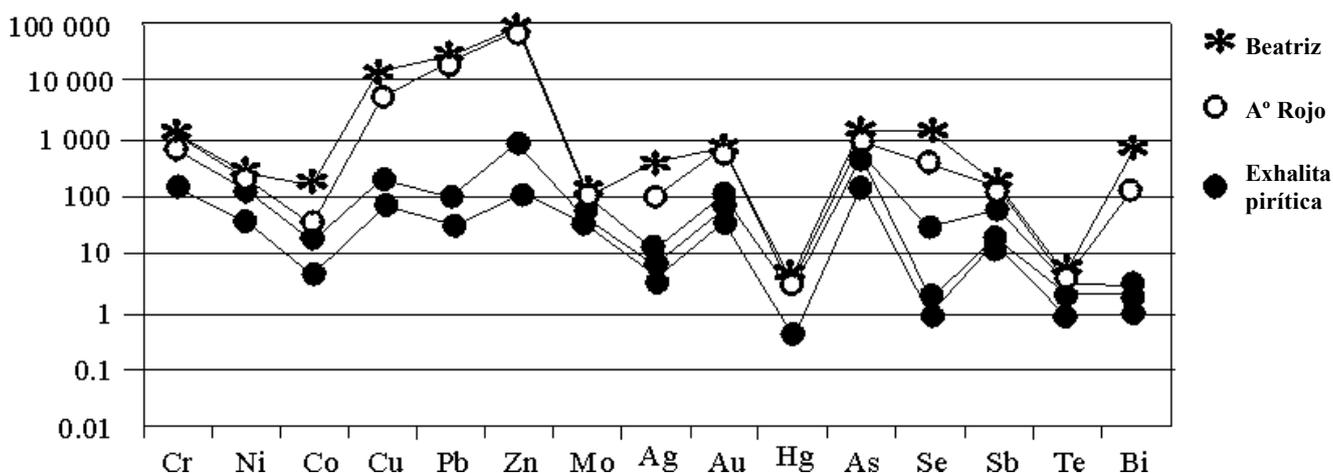


Figura 3. Distribución de metales en menas masivas (Arroyo Rojo y Beatriz) y exhalitas piríticas.

criminar sedimentos hidrogénicos de aquellos que tienen filiación hidrotermal, las dos muestras analizadas del *chert* pirítico de Monte Susana (obtenidas por esquireo) entran en el campo hidrotermal. En la distribución de metales de menas masivas, comparadas con las del *chert* pirítico se observa una similar distribución a excepción de Cu, Pb y Zn (figura 3). Cabe destacar que los valores de Zn para el *chert* pirítico fluctúan entre 100 y 700 ppm sobre análisis de 3 muestras. De este modo los *cherts* piríticos representan en la secuencia de la Formación Yahgán otra expresión de un episodio hidrotermal de alto contenido silíceo y pirí-

tico que además se aloja en niveles semejantes a los de cuerpos intrusivos riolíticos (Ametrano y Paar, 1996).

Si se comparan las menas masivas de Beatriz y Arroyo Rojo, la primera posee tenores más elevados en Co, Cu, As, Se Bi y Ag. El Co está contenido en la cobaltita de la mina Beatriz como en sus piritas. En tanto, arroyo Rojo tiene mayores contenidos de Pb y Zn en coherencia con la composición de la mena, en la cual la calcopirita es subordinada. Estos datos se aproximan a los reconocidos para porciones basales más cupríferas (>Bi, Se, Co,) -y póstum- de los VMS (Beatriz), respecto de los mayoritariamente de Pb-Zn (Arroyo Rojo) que representan niveles iniciales del modelo (Marcoux *et al.*, 1996; Eldridge *et al.* 1983; Large, 1992).

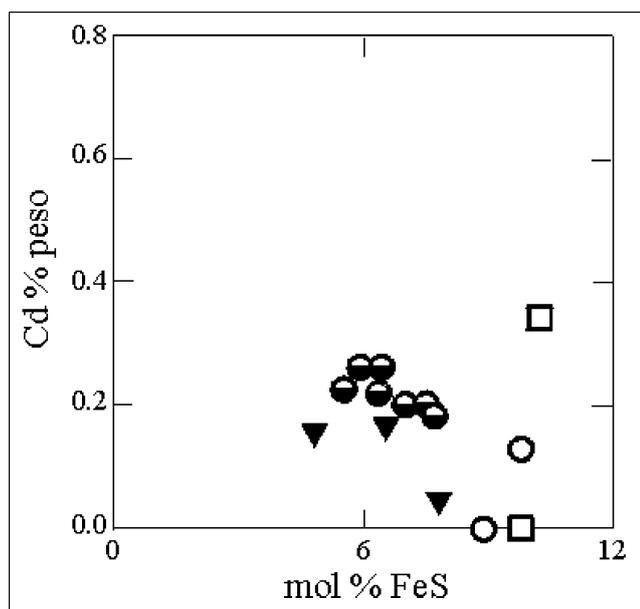


Figura 4. Cadmio (porcentaje en peso) versus mol% en FeS en esfaleritas. Triángulos llenos, acumulación de 30 datos: esfalerita Beatriz masiva. Círculos semillenos, acumulación de 60 datos: esfalerita Arroyo Rojo. Círculos y cuadrados vacíos, acumulación de 20 datos de esfalerita *stockworks*.

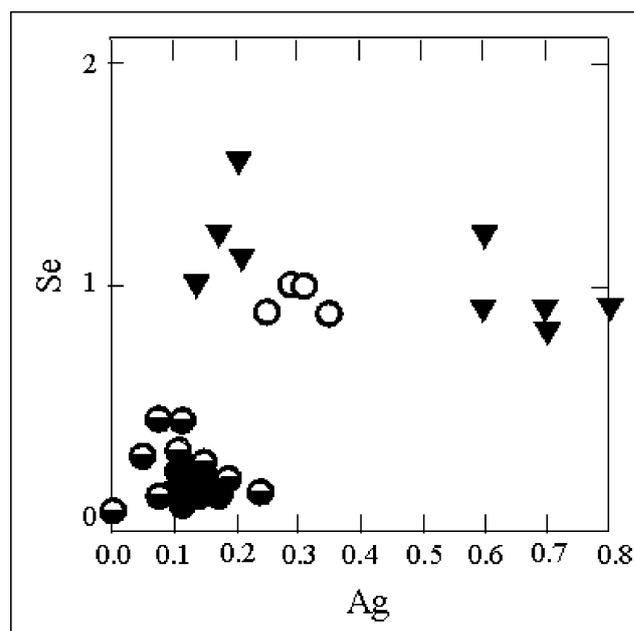


Figura 5. Selenio versus plata en galenas. Referencias iguales a las de la figura 4.

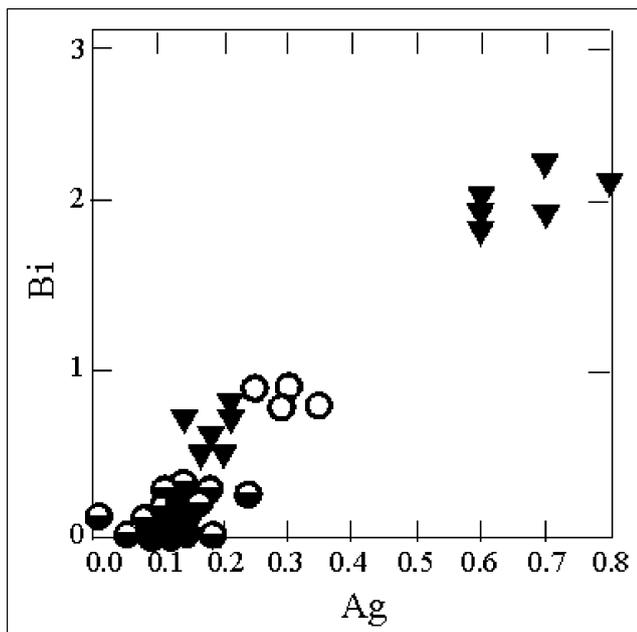


Figura 6. Bismuto *versus* plata en galenas. Referencias iguales que las de la figura 5.

Se analizó el contenido en Cd de las esfaleritas *vs.* el mol % en FeS que poseen. Se han acumulado puntos promediados en el gráfico (figura 4), que en total representan 110 análisis por microsonda. Se observa un ligero aumento del contenido de FeS en las esfaleritas de los *stockworks* de Beatriz, Sargent y Rancho Hambre respecto de los de las menas masivas de Beatriz y Arroyo Rojo, sin superar 10 mol por ciento, tal como ocurre en la Faja Ibérica (Marcoux *et al.*, 1996). En cuanto al Cd, todas las esfaleritas se encuentran por debajo del rango de las epitermales establecido por Bortnikov *et al.* (1995) entre 0,5 y 2 % en peso.

En cuanto a las galenas, los tenores en Ag de la mina Beatriz son fluctuantes y mayores que los de la mena masiva de Arroyo Rojo. Lo mismo sucede para el Se (figura 5) y Bi con contenidos superiores en la mena de Beatriz, y muy bajos en Arroyo Rojo. La correlación Bi/Ag es muy buena para las galenas (figura 6). En todos los casos las galenas de *stockwork* se encuentran con valores intermedios.

Galena	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Beatriz	38.501	15.652	18.504
Arroyo Rojo	38.505	15.645	18.645

Tabla 5. Valores de Pb isotópico en 2 galenas.*; **. (*2 sigma = $\pm 0,012$; 0,014; 0,048; Estándar = NBS 981). **Corrección de datos por fraccionamiento + 0,13 % / unidad de masa atómica según NBS 981.

Mineral	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ ‰
Pirita Beatriz	0,61
Pirita Arroyo Rojo	1,60
Esfalerita Beatriz	-0,35
Esfalerita Arroyo Rojo	0,79
Pirita chert Monte Susana	7,88

Tabla 6. Resultados de isótopos de S.

Se efectuaron más de 100 análisis por microsonda electrónica de piritas, cuyos resultados permiten extraer las siguientes conclusiones:

- Las piritas de Arroyo Rojo poseen los valores más elevados de Zn (hasta 1,5 % peso), demostrando que la abundancia de Zn permitió su ingreso a la estructura de la pirita.

- Los valores de Au, aunque despreciables, son muy variables y los mayores acompañados de un incremento de As.

- Los contenidos más altos de Au fueron hallados en piritas diseminadas del monte Olivia con valores constantes entre 0,10 y 0,37 % peso Au, y también los más altos en As, entre 0,06 y 0,214 % peso.

- Las piritas framboidales poseen valores mayores de As que las restantes, las recristalizaciones de framboides fueron acompañadas de una pérdida de este metal.

- El Au fue detectado, en menores concentraciones que en monte Olivia, en piritas de la estancia Túnel, Rancho Hambre, diseminación de Sargent y calcopirita de la mena masiva de esta última manifestación.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS

Los análisis isotópicos de Pb fueron realizados en la Universidad de Carleton, Canadá. Se analizaron dos galenas de menas masivas, una de Arroyo Rojo y otra de Beatriz (tabla 5). Comparadas con la curva de evolución crustal promedio de Stacey y Kramers (1975), ambas muestras entran dentro del error de la curva y modelan edades de menos de 100 Ma, pero esta edad debe estar influida por el metamorfismo que afectó los sulfuros. Si ello ocurrió, el plomo en los sulfuros puede incluir Pb original más Pb introducido al sistema durante el metamorfismo. También podría haber influido una pequeña cantidad de Pb intercre-

Beatriz mena masiva	247° C - 292° C
Arroyo Rojo mena masiva	293° C - 342.5° C

Tabla 7. Temperaturas calculadas según Ohmoto y Ray (1979), usando d^{34}S del par pirita-esfalerita.

cido, debido al U atrapado en pirita. Sin embargo no se halló U en el concentrado y no debe considerarse un factor de influencia.

Los isótopos de S (tabla 6) se analizaron en el Servicio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España. Se analizaron dos piritas y dos esfaleritas de menas masivas (Beatriz y Arroyo Rojo), así como pirita del *chert* pirítico del monte Susana. El standard utilizado fue NBS 123.

Los valores de las menas masivas se encuentran en los rangos de azufre magmático y más precisamente de sulfuros masivos o procesos hidrotermales, en tanto los del *chert* pirítico del monte Susana podrían indicar un aporte complementario de azufre del agua de mar (Rollinson, 1993). Con los pares pirita-esfalerita de las menas masivas se aplicó el método de Ohmoto y Ray (1979) para calcular temperaturas, presentadas en la tabla 7.

El mayor grado de recristalización de la mena de Arroyo Rojo podría estar en relación con una temperatura algo más elevada.

MODELO GENÉTICO

Los datos aportados y el marco geológico permiten adoptar el modelo de depósitos relacionados a volcanismo submarino de tipo sulfuros masivos, con metamorfismo sobrepuesto. No obstante, es mucho aún lo que se requiere de estudios del volcanismo de la provincia para una estricta determinación de las zonas con carácter submarino de otras que pudieran ser subaéreas. Esto último conducirá de mejor modo los próximos pasos en tareas de prospección.

Barrie y Hannington (1997) clasificaron en cinco tipos a los VMS según el conjunto litológico que los hospeda. Así, las manifestaciones de Tierra del Fuego serían del tipo bimodal-siliciclástico (aproximadamente 50 % volcanitas ácidas y 50 % siliciclásticas). Franklin *et al.* (1998) consideraron que este tipo se ubica en ambientes tectónicos de arcos o retroarcos. En cuanto al volumen de mineralización, estos últimos autores han efectuado una vinculación con la edad de los mismos. Los que poseen mayores volúmenes corresponden al Paleozoico, mientras que los VMS del Mesozoico o Cenozoico son los de menor tamaño.

Algunas consideraciones que se desean señalar para el distrito son las siguientes:

- Las abundantes zonas con anomalías de color estimulan la continuación de tareas de prospección, a pesar de los escasos accesos de las zonas.

- El conjunto volcanosedimentario de la cuenca de retroarco ha tenido otros episodios hidrotermales menores, como los representados por el *chert* pirítico estudiado, frecuentes en asociación a otros VMS del mundo.

- La existencia en el mismo arco, en Chile, de depósitos de rendimiento económico y otros aún en estudio indican un metalotecto definido.

- Las manifestaciones diseminadas y de tipo *stockwork* no se apartan del modelo VMS sino que podrían formar parte de los esquemas ya señalados para los distritos más importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, R. D., 1996. Los mecanismos sustitutivos y los factores de evolución en los anfíboles de la Hornblendita Ushuaia, Tierra del Fuego. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 51 (1): 69-77.
- Acevedo, R. D. y A. P. Radoszta, 1987. Manifestaciones piríticas y anomalías metálicas en la costa sur de Tierra del Fuego, República Argentina. *10° Congreso Geológico Argentino*, 2: 227-230.
- Ametrano S. y W. Paar, 1996. La composición química de los sulfuros de mina Beatriz, Tierra del Fuego: un aporte para su interpretación metalogenética. *13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas*, 3, 159-172.
- Ametrano S., M. Zubia, R. Etcheverry, M. Godeas y H. Echeveste, 1998. Depósitos polimetálicos de sulfuros masivos metamorfizados en los Andes Fueguinos. Provincia de Tierra del Fuego, Argentina. *10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas*, (Resumen y Poster), 3: Recursos Minerales y Combustibles, 148.
- Barrie, T., y M. D. Hannington (Eds.), 1997. Volcanic-associated massive sulphide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings. *Geol. Assoc. of Canada – Society of Econ. Geologists Short Course*, Ottawa, Canada, 418.
- Bonatti, E., 1975. Metallogenesis at oceanic spreading centers. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 3: 401-413.
- Borrello, A. V., 1969. Los geosinclinales de la Argentina. *Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales*, 14, 188 páginas. Buenos Aires.
- Borrello, A. V., 1972. Cordillera Fueguina. En Geología Regional Argentina. H. Leanza, editor. *Academia Nacional de Ciencias*, 741-753. Córdoba.
- Bortnikov, N. S., M. G. Dobrovol'skaya, A. D. Genkin, V. B. Naumov y V.V. Shapenko, 1995. Sphalerite-galena Geothermometers: Distribution of Cadmium, Manganese, and Fractionation of Sulfur Isotopes. *Econ. Geol.*, 90: 155-180.
- Bruhn, R. L. e I. Dalziel, 1977. Destruction of the early cretaceous marginal basin in the Andes of Tierra del Fuego. En Talwani M. y Pitman W. (Eds.): *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back Arc Basins. Amer. Geophysical Union*, 1: 395-405.
- Bruhn, R. L., C. Stern y M. J. De Wit, 1978. Field and geochemical data bearing on the development of a Mesozoic, volcano-tectonic rift zone and back-arc basin in the Southernmost South America. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 41: 32-46.

- Caminos, R., 1979. Cordillera Fueguina. En Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*, 1463-1501. Córdoba.
- Caminos, R., M. Haller, O. Lapido, A. Lizuain, R. Page y V. Ramos, 1981. Reconocimiento geológico de los Andes Fueguinos. Territorio Nacional de Tierra del Fuego. 8° Congreso Geológico Argentino, *Actas*, 3: 754-786.
- Cingolani C., 1989. Transect: Tierra del Fuego-Diego Ramirez Islands (Argentina-Chile). *Reunión sobre Geotransectas de América del Sur (Mar del Plata)*, *Actas*, 9-13.
- Dalziel, I. W. D., 1981. Back-arc basin in the southern Andes: a review and critical reappraisal. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A300, 319-335.
- Dalziel, I. W. D., 1982. The early (pre-middle Jurassic) history of the Scotia arc region: a review and progress report. En Craddock C. (Ed.) *Antarctic Geoscience*, 111-126.
- Dalziel, I. W. D., M. J. De Wit y K. F. Palmer, 1974. Fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature* 250: 291.
- Dalziel, I. W. D., B. C. Storey, S. W. Garrett, A. M. Grunow, L. D. Herrod y R. J. Pankhurst, 1987. Extensional tectonics and the fragmentation of Gondwanaland. En: Continental Extensional Tectonics, Ed. Coward, Dewey y Hancock. *Blackwell Scientific Publications*, 637 p.
- Eldridge, C. S., P. B. Barton y H. Ohmoto, 1983. Mineral textures and their bearing on formation of the kuroko orebodies. *Econ. Geol. Monograph*, 5: 241-281.
- Franklin, J. M., M. D. Hannington, I. R. Jonason y C. T. Barrie, 1998. Arc-related volcanogenic massive sulphide deposits. In: Metallogeny of volcanic arcs. *British Columbia Geol. Survey, Short Course Notes, open File 1998-5*, Section B.
- Haller, M. y D. Delpino, 1989. Una ofiolita desmembrada en la Isla Grande de Tierra del Fuego. *Reunión sobre Geotransectas de América del Sur (Mar del Plata)*, *Actas*, 160-164.
- Katz, H. R., 1972. Plate tectonics and orogenic belts in the south-east Pacific. *Nature*, 237, 331-332.
- Kranck, E. H., 1932. Geological investigations in the Cordillera of Tierra del Fuego. *Acta Geographica*, 4 (2): 1-231.
- Large, R., 1992. Australian Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits: Features, Styles, and Genetic Models. *Econ. Geol.*, 97: 471-510.
- Lentz, D. R., 1996. Trace-Element Systematics of Felsic Volcanic Rocks Associated with Massive-Sulphide Deposits in the Bathurst Mining Camp. En: D. A. Wyman (Ed.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration. *Geol. Assoc. of Canada, Short Course Notes*, Volume 12. Winnipeg.
- Marcoux, E., Y. Moëlo y M. Leistel. 1996. Bismuth and cobalt minerals as indicators of stringer zones to massive sulphide deposits. *Iberian Pyrite Belt. Min. Dep.*, 31: 1-26.
- Ohmoto, H. y R. O. Rye, 1979. Isotopes of sulfur and carbon. In: Barnes H. L. (Ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Wiley, New York, pp. 509-567
- Olivero, E., R. Acevedo y D. Martinioni, 1997. Geología del Mesozoico de bahía Ensenada, Tierra del Fuego. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 52 (2): 169-179.
- Pesce, A., S. Page y N. Rubinstein, 1996. Características petrográficas y eruptivas de la Formación Lemaire, en el área de las Termas del Río Valdez, Tierra del Fuego. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, *Actas*, 5: 251-256.
- Quartino, B. J., R. D. Acevedo y J. Scalabrini Ortiz, 1989. Rocas eruptivas volcánicas entre Monte Olivia y Paso Garibaldi, Isla Grande de Tierra del Fuego. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 44 (1-4): 328-335.
- Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data. *Longman Scientific & Technical*, New York.
- Stacey, J. S. y J. D. Kramers, 1975. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by Two Stage Model. *Earth & Planet. Sci. Letters*, 26: 207-221.
- Suárez, M., M. Hervé y A. Puig, 1985 a. Hoja Isla Hoste e islas adyacentes. 12° Región. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, Carta Geológica de Chile, 65.
- Suárez, M., A. Puig y M. Hervé, 1985b. Depósitos de un abanico submarino de Tras-Arco del Mesozoico superior: Formación Yahgán, Islas Hoste y Navarino. 4° Congreso Geológico Chileno (Antofagasta), *Actas*, 1, 534-545.
- Thomas, E. R., 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 33 (9): 1157. Tulsa.
- Yamana Resources INC., 1998. Proyecto Fin del Mundo, Tierra del Fuego. Argentina. Informe, 4 páginas.
- Zubia, M., M. Godeas y S. Ametrano, 1989a. Area mina Beatriz, Territorio Nacional de Tierra del Fuego, República Argentina: una manifestación de metales de base estratoligada y singenética. En Brodtkorb, M. y Schalamuk I. (Ed.). Proyecto 242 IGCP. *Simposios sobre el Cretácico de América Latina, Actas*, C, 15-44.
- Zubia, M., M. Godeas y S. Ametrano, 1989 b. Un episodio metalogenético en la Isla Grande de Tierra del Fuego. *Reunión sobre Geotransectas de América del Sur (Mar del Plata)*, *Actas*, 213-217.