

Caracterización geológica del *skarn* “El Abuelo” Alto Río Senguerr, Chubut

Mabel E. LANFRANCHINI

UNLP-CONICET, Instituto de Recursos Minerales, calle 64 e/119 y 120. E-mail: mlanfranchini@inremi.unlp.edu.ar

RESUMEN. El *skarn* “El Abuelo” está situado en el extremo sudoccidental de la Provincia del Chubut, República Argentina. Se desarrolla en un ambiente tectónico de arco magmático, en corteza continental. Está emplazado en sedimentitas silicoclásticas con intercalaciones carbonáticas y se vincula a cuerpos intrusivos riodacíticos, conjunto atribuido al Cretácico inferior. En esta manifestación se reconocieron anomalías en elementos metalíferos (Fe, Cu, Pb, Zn, Ag) que le confieren interés como guía para la exploración de recursos minerales en esta región. La presente contribución tiene por finalidad tipificar al *skarn* a través de una caracterización geológica y mineralógica. La asociación paragenética de minerales reconocidos permitió identificar dos episodios: uno metasomático y otro hidrotermal, ambos desarrollados en las sedimentitas (exoskarn). El primero fue originado por fluidos de derivación magmática, que provocaron la formación de minerales calcosilicáticos. Posteriormente la incorporación de agua en el sistema facilitó el desarrollo de minerales hidratados, retrogradando parcialmente al *skarn*, proceso que fue seguido por la depositación de hematita, magnetita y sulfuros, acompañados de sílice. La asociación de minerales calcosilicáticos, junto a la variación en la composición química de piroxenos y granates y la mineralización identificada, permiten tipificar al *skarn* “El Abuelo” como cálcico, con hierro como metal dominante.

Palabras clave: *Skarn, Ca - Fe, Cretácico, Chubut, Argentina*

ABSTRACT. Geological characterization of “El Abuelo” *skarn* deposit, Alto Río Senguerr, Chubut. “El Abuelo” *skarn* deposit is located in southwest Chubut province. It was formed in a magmatic arc tectonic environment, developed in continental crust. The *skarn* is hosted in low cretaceous silicoclastic sands interbedded with limestones, and it is related to small rhyodacitic sub-volcanic bodies. Anomalous contents of metals (Fe, Cu, Pb, Zn, Ag) provide an interesting exploration guide. This paper is devoted to give a geological and a mineralogical characterization of the *skarn*, in order to establish the deposit type. Paragenetic mineral assemblage identified, allow to distinguish two stages: a metasomatic and an hydrothermal one, both developed upon the sedimentary rocks (exoskarn). The first one is originated by magmatic fluids, which lead to the formation of calc silicate minerals. During the later phase of the *skarn* formation, water infiltration produced the *skarn* retrograding, which is represented by hydrous mineral association, followed by the precipitation of hematite, magnetite and sulphides, associated to silica veins. The calc-silicate assemblages identified, together with the chemical composition of pyroxene and garnet, and the mineralization recognized, permit to classify *skarn* “El Abuelo” as calcic type, with iron as dominant metal.

Key words: *Skarn, Ca - Fe, Cretaceous, Chubut, Argentina*

Introducción

Numerosos depósitos de *skarn* se desarrollan en proximidad de cinturones orogénicos relacionados con actividad magmática – hidrotermal, que favorece la precipitación de óxidos y sulfuros diseminados. Estos depósitos han adquirido importancia como guía de exploración y fuente de recursos minerales, a lo largo de las cadenas montañosas de tipo andino.

En el cerro Pepita, situado en las estribaciones más orientales de la Cordillera Patagónica Central del Chubut y a 12 kilómetros al nor-noroeste de la localidad Alto Río Senguerr, está situado el *skarn* “El Abuelo” (Fig. 1). Está vinculado al magmatismo ácido del Cretácico inferior y se emplaza en sedimentitas de la Formación Tres Lagunas.

Esta manifestación fue originalmente asentada en el padrón minero como mina de hierro “Quitral” y posteriormente como “El Abuelo”. Fue explotada a cielo abierto median-

te labores en trinchera, a partir del emprendimiento personal del dueño de las tierras. El mineral extraído era llevado a Comodoro Rivadavia, pero a fines de 1960 cesó la producción debido a su escasa e irregular distribución y a su posición geográfica, lejana de los centros de consumo.

Hayase *et al.* (1972) realizaron las primeras investigaciones mineralógicas en la zona y definieron a “El Abuelo” como yacimiento de hierro. De este modo y ante la presencia de algunos minerales de *skarn*, contemplaron la posible existencia de una formación calcárea e incluso de un *skarn* en un nivel más profundo. Entre estos minerales, el que despertó mayor interés fue un piroxeno (mangano-hedenbergita, según Hayase y Labudía, 1972), que fuera posteriormente caracterizado químicamente por Canafoglia *et al.* (2002). Luego Medina y Maisterrena (1981) describieron la relación de la mineralización con las volcanitas encajantes, y al mismo tiempo discutieron la correspondencia de estas volcanitas con los ciclos

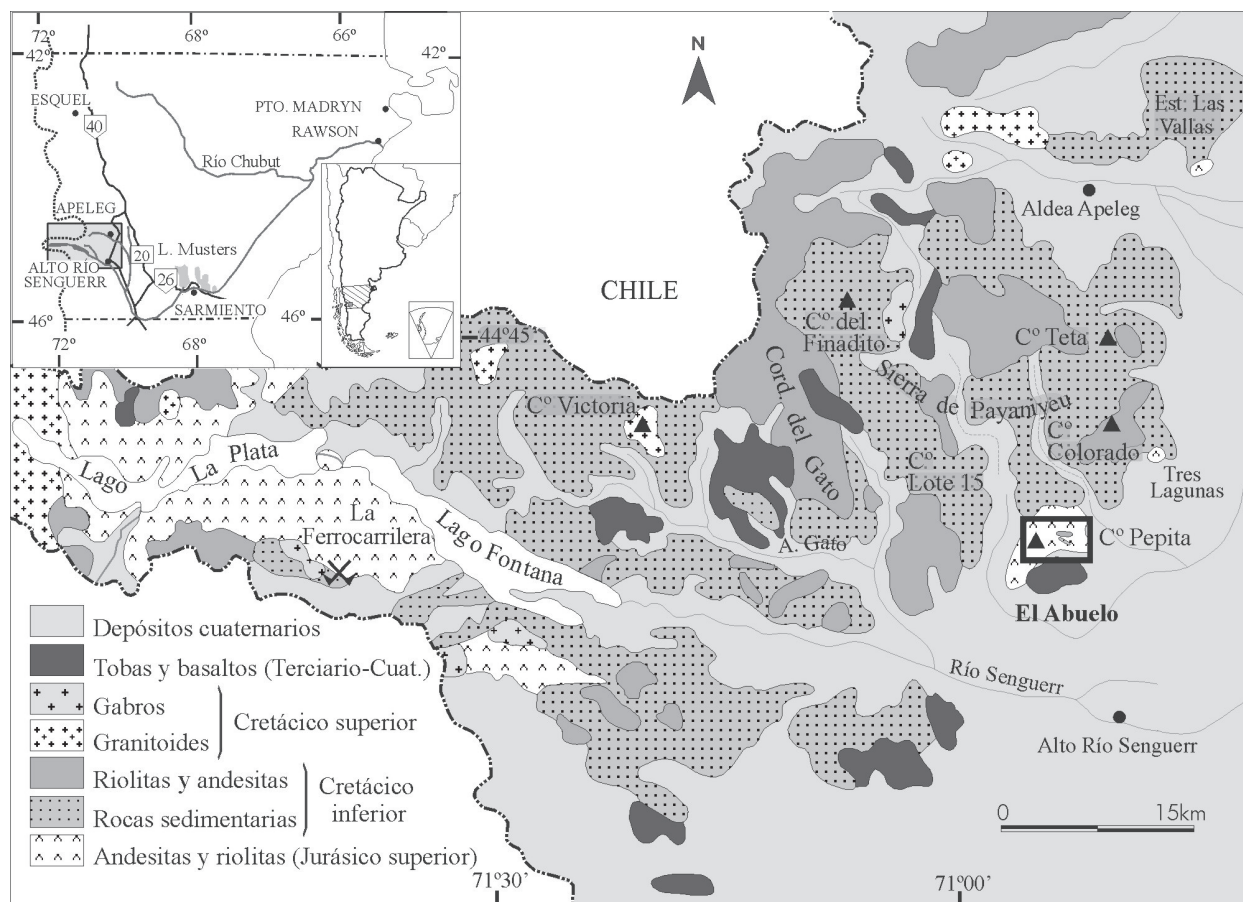


Figura 1: Mapa geológico regional y ubicación local (parcialmente tomado de Ramos 1981 y Ploszkiewicz 1987).

eruptivos de extensión regional. Recientemente Dawson (1998) realizó un estudio de campo, en el marco del proyecto Pasma *Skarn*, en el que reconoció la presencia de bolsones de magnetita masiva, vinculada a granate de progrado.

En este trabajo se presentan las principales características geológicas y mineralógicas del *skarn* “El Abuelo”, con el propósito de tipificarlo.

Metodología

El estudio geológico se realizó sobre la base de fotografías aéreas a escala 1:65.000, imágenes TM de Landsat y reconocimiento de campo. Para caracterizar al depósito se efectuaron dos perfiles geológicos, análisis químicos, geoquímica de isótopos estables y análisis por microsonda electrónica.

Las muestras para análisis geoquímicos se obtuvieron en forma discontinua, en afloramientos de las estructuras vetiformes de “El Abuelo”, por el método de esquirlas. Los análisis se realizaron mediante técnicas de espectrometría de emisión de plasma (ICP) y activación neutrónica (INAA), en *Intertek Testing Services*, Bondar Clegg (Canadá).

Con el objeto de determinar el origen de los fluidos que

intervinieron en la formación del *skarn*, se efectuaron las primeras determinaciones isotópicas de oxígeno e hidrógeno. Las mismas se realizaron en el Servicio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, mediante la utilización de un espectrómetro de masas de fuente gaseosa, modelo SIRA-II, fabricado por VG-Isotech, equipado con *cold finger*, para análisis de muestras pequeñas y sistema múltiple de admisión de muestras. En la preparación de las mismas se utilizó la línea de fluorinación. Las muestras (actinolita) fueron separadas y concentradas en forma manual para ser sometidas posteriormente a la extracción de gas a través de métodos convencionales (Clayton y Mayeda 1963). Las relaciones isotópicas se expresan a través de la notación normal como valor delta por mil (δ ‰), con un error analítico de $\pm 0,8$ por mil para $\delta^{18}\text{O}$ y ± 1 por mil para δD . Los resultados están dados con relación al standard SMOW (*Standard Mean Ocean Water*).

Análisis por microsonda electrónica de piroxenos y granates fueron de relevancia en la tipificación y caracterización del *skarn*. Los estudios se efectuaron con una microsonda Cameca, modelo Camebax SX 50, en el laboratorio del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, España. Las determinaciones se realizaron con aceleración de corriente 20 kv e intensidad 20 mA. Se analizaron los siguientes contenidos: Na L α , Al L α , Si L α , K L α , Ca L α , Ti L α , Fe L α , Mn L α , Mg L α , Cr L α , Ni L α (LiF).

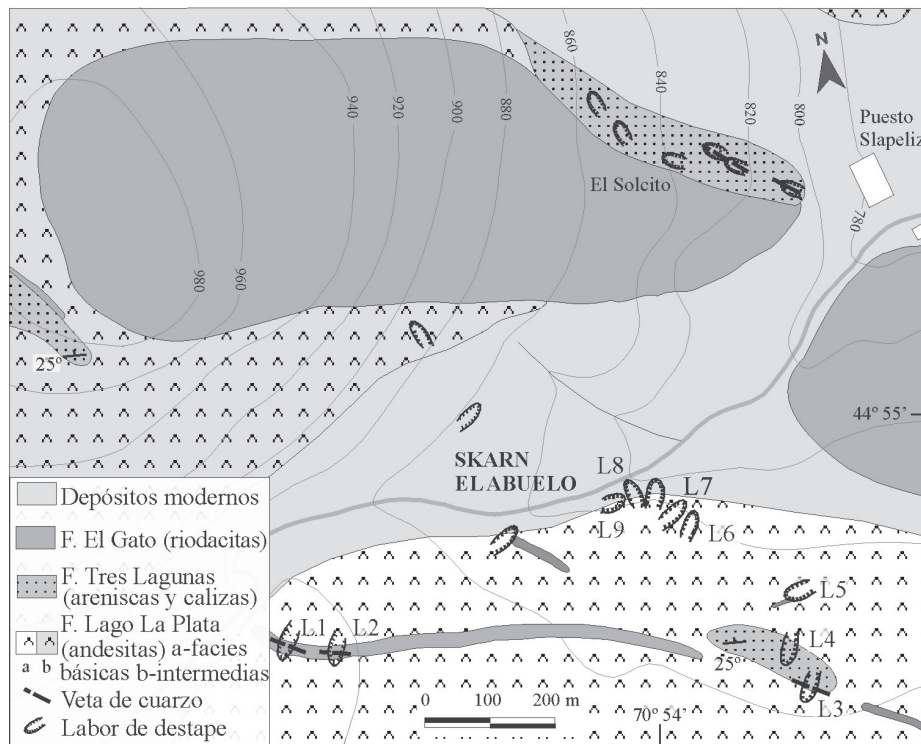


Figura 2: Geología del skarn El Abuelo.

Geología Regional

Durante el Mesozoico se desarrolló en la región un intenso volcanismo relacionado a sedimentitas marino - continentales de edad jurásico - cretácica. Estas secuencias fueron intruidas por rocas ígneas, principalmente cretácicas, a las que se vincula el desarrollo del skarn estudiado.

El basamento de la comarca está representado por volcanitas andesíticas de la Formación Lago La Plata (Ramos 1976), asignadas al Jurásico superior, cuyos términos superiores se interdigitan con sedimentitas marinas de la Formación Tres Lagunas (Ploszkiewicz y Ramos 1977). El posterior desarrollo de un sistema deltaico, en el Cretácico inferior, se manifiesta a través de potentes afloramientos de areniscas cuarzosas de la Formación Apeleg (Ploszkiewicz y Ramos 1977). La sedimentación fue interrumpida, hacia fines del Cretácico inferior por una importante actividad magmática, representada en la región por las Formaciones Ñirehuao y El Gato (Ploszkiewicz y Ramos 1977), a las que le sucedieron, en el Cretácico superior, la intrusión de granitoides (Formaciones Cerro Victoria, La Magdalena y La Plata Chico) y cuerpos gábricos (Formación Muzzio).

Movimientos póstumos de alivio tensional, en el Terciario y Cuaternario, facilitaron diversos derrames basálticos a los que luego se sumaron sedimentos fluviales y depósitos recientes de remoción en masa. (Fig. 1).

El cuadro estructural que presenta la comarca es el resultado de la superposición de varias fases diastróficas cuyas primeras manifestaciones fueron la creación de bloques basamentales rígidos, limitados por fracturas, con

deformaciones concomitantes de extensión. Sin embargo el esquema estructural actual está gobernado por la orogenia andina, que reactivó a este sistema de fracturación heredado del basamento, produciendo acortamiento en la corteza y la inversión tectónica del rift cretácico inferior (Folguera *et al.* 2000).

Geología Local

Las volcanitas de la Formación Lago La Plata integran coladas cuya inclinación, 25° hacia el norte, acompaña la inclinación regional de las sedimentitas suprayacentes, cuyas primeras manifestaciones se interdigitan con el techo de las andesitas. Estas volcanitas son de color gris oscuro y poseen textura porfírica, integrada por fenocristales de piroxeno y plagioclasa, inmersos en una mesostasis pilotáxica. El piroxeno es euhedral / subhedral, de hábito prismático y color verde pálido. Está parcialmente reemplazado por clorita, epidoto y anfíbol. Los fenocristales de plagioclasa son en su mayoría euhédricos, muchos de ellos exhiben maclas de tipo polisintética. En la pasta predominan tablillas entrecruzadas de plagioclasa que encierran cristales de piroxeno, en los que se intercalan escamas alargadas de clorita, y algunos minerales opacos diseminados y lixiviados (Lanfranchini 2002).

La secuencia sedimentaria está constituida por la Formación Tres Lagunas (Jurásico superior – Cretácico inferior) que es el resultado de una deposición epinerítica, en un mar transgresivo, probablemente restringido en algunos sectores por barreras litorales. Sus afloramientos, en general de pequeñas dimensiones, aparecen en forma

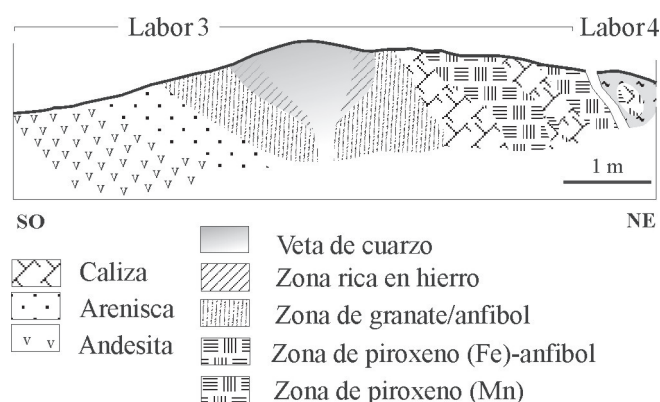


Figura 3: Perfil esquemático de las labores 3 y 4.

saltuaría sobre las volcanitas. Exhiben una secuencia integrada por estratos de areniscas, limolitas y calizas oscuras interdigitadas. Las primeras, de coloración verde grisácea, son las que predominan, están mal seleccionadas y varían granulométricamente desde areniscas finas a sabulíticas. Las limolitas son gris verdosas y levemente arenosas. Por su parte las calizas, de color gris oscuro, están groseramente estratificadas y tienen una potencia que en los afloramientos no supera un metro (Fig. 2).

Las unidades precedentes están intruidas por diques riódacíticos (Formación El Gato), que fueron referidos por Ramos (1981) al Cretácico inferior. Su emplazamiento está controlado por las estructuras y la estratigrafía del área. Los diques conforman resaltos topográficos en el paisaje, están orientados en dirección ONO, a lo largo de una corrida aproximada de 1.000 metros y alcanzan espesores aproximados de 5 metros, incluyendo brechas y stockworks. Además las riódacitas desarrollan, inmediatamente al norte de “El Abuelo”, un cuerpo con una expresión en superficie levemente tabular, que excede los 1.000 metros de longitud, cuya actitud coincide en forma aproximada con el arrumbamiento de la estratificación general de la zona, por lo que se interpreta como un cuerpo intrusivo emplazado en planos de estratificación. Al microscopio, la riódacita tiene textura porfírica, constituida por fenocristales de cuarzo de hasta cinco milímetros de tamaño, y en menor proporción de feldespato potásico, plagioclasas y minerales máficos, en una mesostasis felsítica, gris clara a rojiza. Los cristales de cuarzo son límpidos y con numerosas inclusiones fluidas alineadas, en general son poco desarrollados aunque algunos adquieren formas bipiramidales, con abundantes engolfamientos. El feldespato potásico es euهدral / subهدral, comúnmente maclado según ley de Karlsbad y está parcialmente sustituido por sericita y argilominerales. Las plagioclasas, en menor proporción, son euهدrales / subهدrales y en algunos cristales poseen maclas tipo polisintética. La alteración predominante en ellas es la sericitica. Los minerales máficos están reemplazados por epidoto y clorita. En la pasta se distinguen además laminillas de sericita, a veces radiadas y numerosos *boxworks* de piritita.

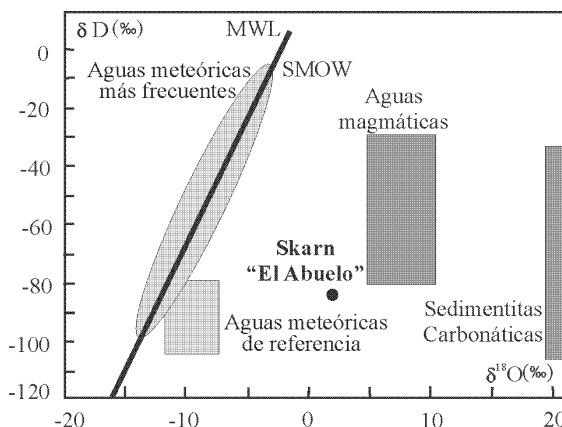


Figura 4: Valores isotópicos $\delta^{18}\text{O}$ y δD .

Descripción Del Skarn

En el faldeo oriental del cerro Pepita, 11 labores en trinchera destapan parte del skarn “El Abuelo” (Fig. 2). El skarn se desarrolla en delgados estratos de calizas de la Formación Tres Lagunas. En las labores 3 y 4, donde se encuentra mejor expuesto, manifiesta una leve zonación. Hacia el centro de la labor 3 se diferencia una zona rica en granate (Fig. 3), seguida de otra enriquecida en piroxenos, que gradan desde hedenbergíticos a manganesíferos (labor 4). El cuerpo intrusivo al cual se vincula la formación del skarn estaría constituido por un dique riódacítico de la Formación El Gato, que si bien no asoma en estas trincheras, su presencia se infiere en profundidad debido a la continuidad que evidencian sus afloramientos en las labores 1, 2 y al sudeste de las labores 3 y 4 (Fig. 2). A este último se vincula la presencia de una veta de cuarzo que atraviesa al skarn en la porción central. En esta veta se encuentran diseminados magnetita, hematita y minerales oxidados de hierro.

El granate es de color castaño oscuro, forma pequeños individuos de hasta un milímetro de tamaño, rodeados por anfíboles fibrosos, de color verde. Su composición es grosularítica (Gr_{71-76}). Contigua a la zona anterior se desarrollan cuerpos de roca piroxénica, en la labor 3 y especialmente en la 4, que conservan fragmentos relictuales de la sedimentita. Los individuos de piroxeno (Hayase y Labudía 1972, Canafoglia *et al.* 2002), que serán analizados en el apartado de análisis por microsonda electrónica, tienen un color que varía desde verdoso claro (piroxeno hedenbergítico, Labor 3), a castaño oscuro (mangano – hedenbergítico, Labor 4). El piroxeno hedenbergítico (Hd_{91-98}) desarrolla pequeños cristales cuyo tamaño medio ronda el milímetro, mientras que el piroxeno más enriquecido en manganeso (Hd_{64-73}) constituye cristales de hasta 7 centímetros de longitud. De acuerdo a Meinert (1987) el progresivo incremento de Mn en el piroxeno ocurre a medida que aumenta la distancia al cuerpo intrusivo, aún cuando el contenido en Mn del sistema sea escaso. Si bien en los afloramientos de “El Abuelo” no pudo ser reconocido el endoskarn, la zonación composicional del

Cuadro 1: Principales resultados geoquímicos.

	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (%)	As (ppm)
Promedio	17,0	21,1	5361,3	2133,0	5596,3	6,0	291,3
Máximo	32,0	50,0	>10.000	5217,0	>10.000	>10	776,0
Mínimo	7,0	0,25	82,0	194,0	427,0	1,4	29,0

piroxeno contribuye a interpretar que éste podría ubicarse, próximo a la veta de cuarzo, en un nivel inferior.

El anfíbol (actinolita), también verde claro, forma agregados fibrosos de hasta 2 centímetros de longitud. Se forma a expensas del piroxeno hedenbergítico y granate.

La veta que atraviesa al skarn está constituida por cuarzo blanco, macizo, con textura en peine en los espacios abiertos, especialmente hacia los contactos, cuyos cristales están revestidos por minerales oxidados de hierro (limonitas) y cobre (malaquita, crisocola, azurita). Microscópicamente predomina el cuarzo macizo, se restringe solo a algunos tramos las texturas de recristalización en mosaico y llameante, y la presencia de calcedonia. Entre los cristales de cuarzo se encuentran diseminados minerales de hierro, como hematita, magnetita, pirita y calcopirita, además de cloritas y titanita. La hematita constituye cristales de hábito tabular largo, que promedian 1 milímetro de longitud por 100 micrones de ancho. Se distribuyen integrando agregados paralelos o radiados. Por su parte la magnetita forma cristales bien desarrollados, cuyo tamaño oscila entre 50 micrones y 3 milímetros. Muchos de los individuos albergan finas exsoluciones de hematita, distinguibles por su anisotropía y mayor reflectividad. En los cristales de mayor tamaño los procesos de oxidación produjeron reemplazos pseudomórficos de hematita de grano fino y maghemita. Entre los sulfuros de hierro, la pirita es la más abundante, desarrolla cristales cúbicos de 50 micrones promedio de lado, que con frecuencia están parcial a totalmente limonitizados; en tanto que la calcopirita conforma individuos anhedrales, de 50 micrones de tamaño promedio.

Numerosas guías de cuarzo se disponen en forma subparalela a la veta, además de escasas y delgadas vetillas de calcita. Las primeras son las más abundantes, miden entre 2 y 5 milímetros de espesor y están rellenas por cuarzo con escasa participación de adularia, clorita, titanita y minerales opacos lixiviados. Los cristales de cuarzo tienen un tamaño medio de 2 milímetros y textura maciza. La adularia está intercrecida con cuarzo y constituye cristales euhédricos, de secciones rómbicas, cuyo tamaño promedio es de 50 micrones. La presencia de cloritas (ripidolita - brunsvígita) es muy abundante, disponiéndose en oquedades o a modo de parches diseminadas en cuarzo. Denotan al menos dos generaciones, la primera, así definida al microscopio por relaciones de corte, está integrada por cristales muy pequeños. En tanto que la posterior está caracterizada por laminillas de mayor tamaño, de hasta 200 micrones de longitud, muchas veces teñidas por óxidos de hierro. La titanita presenta secciones rómbicas bien desarrolladas, de hasta 300 micrones de longitud.

Cuadro 2: Resultados $\delta^{18}\text{O}$ / δD , determinados en actinolita.

MUESTRA	MINERAL	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Min}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{Min}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
EA 1	Actinolita	2,10	1,70	-113,80	-85,00
EA 2	Actinolita	2,30	1,90		

Geoquímica

Los análisis geoquímicos se practicaron a partir de 8 muestras obtenidas de las vetas de cuarzo, que representan los pulsos póstumos de la intrusión riódacítica. Estos resultados revelan tenores anómalos en Fe, Cu y Zn, que superan el 1%, también es elevado el contenido de Pb que llega a 5.200 ppm. Entre los metales preciosos la Ag alcanza valores de hasta 50 ppm y el Au un contenido máximo de 32 ppb, con un valor promedio de 17 ppb. Asimismo, se destacan anomalías en elementos rastreadores tales como As, que asciende a 776 ppm. (Cuadro 1).

Geoquímica de Isótopos Estables

Se obtuvieron los primeros resultados isotópicos $^{18}\text{O}_{\text{Min}}$ y $\delta\text{D}_{\text{Min}}$ (Cuadro 2) a partir de actinolita, que permitieron calcular $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ y $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ del fluido en equilibrio con este mineral. Los valores $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ se establecieron a partir de las constantes experimentales propuestas por Zheng (1993), determinándose así los valores 1,7 y 1,9‰. Del mismo modo se obtuvo $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ en equilibrio con actinolita, siguiendo las constantes sugeridas por Graham *et al.* (1984) alcanzando un resultado de -85‰.

Si bien el número de análisis isotópicos efectuados es escaso, los resultados tienden a establecer la proveniencia de las soluciones. Estos resultados fueron comparados con los $\delta^{18}\text{O}$ y δD de aguas magmáticas, citados en la literatura (Bowman 1998), y con los tenores isotópicos correspondientes a aguas meteóricas de referencia determinados para este sector. Éstas se obtuvieron a través de la base de datos de estaciones pluviométricas (prevista por la Agencia Internacional de Energía Atómica de Viena) a partir de estaciones ubicadas a latitud, altitud y continentalidad semejantes a las de "El Abuelo" (Fig. 4).

Análisis por microsonda electrónica

Piroxeno: Los piroxenos analizados provienen de las labores 3 y 4 (Figs. 2 y 3), que descubren la mayor parte del skarn. Los cristales de piroxeno de la primera se exhiben como relictos, en una masa rocosa verde, retrogradada a anfíboles. Al microscopio, el piroxeno es de color verde pálido, desarrolla individuos de hábito prismático corto, de 500 micrones promedio de longitud, que tienen un ángulo de extinción medio de 42°. El piroxeno es gradualmente reemplazado por anfíbol, definido ópticamente como actinolita. Esta última, de hábito prismático fino y una lon-

Cuadro 3: Composición química del piroxeno de la Labor 3.

% en peso									
	E5	E7	E9	E10	E12	E15	E18	E19	E20
SiO ₂	35,19	36,27	35,91	35,57	35,31	35,48	35,49	35,97	35,74
TiO ₂	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,03	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	0,09	0,47	0,03	0,39	0,16	0,09	0,04	0,07	0,02
FeO*	11,67	12,72	12,65	12,02	11,90	12,26	12,53	12,77	12,54
Fe ₂ O ₃ *	18,20	16,78	17,72	18,05	18,23	18,23	17,58	17,21	17,66
MnO	0,75	0,27	0,18	0,90	0,75	0,84	2,59	0,65	0,75
MgO	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
CaO	32,83	33,55	33,29	32,89	32,81	32,67	31,03	32,93	32,75
H ₂ O	1,55	1,59	1,58	1,58	1,56	1,57	1,56	1,58	1,57
total	100,3	100,6	101,4	101,4	100,8	101,2	100,8	101,3	101,0
Número de cationes por unidad de fórmula, sobre la base de 6 oxígenos.									
Si	1,49	1,51	1,50	1,49	1,49	1,49	1,50	1,51	1,50
Al(IV)	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,51	0,47	0,50	0,49	0,50	0,51	0,50	0,49	0,50
suma	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Al(VI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,07	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,41	0,44	0,44	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,44
Mn	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,09	0,02	0,03
Ca	1,49	1,49	1,49	1,47	1,48	1,47	1,40	1,48	1,47
suma	2,00	1,99	2,00	2,00	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00
total	4,00	3,99	4,00	4,00	3,99	4,00	4,00	4,00	4,00
Mol %									
Hd	94,12	98,00	98,04	94,23	94,23	94,33	84,75	96,15	94,34
Dio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jo	5,88	2,00	1,96	5,77	5,77	5,66	15,25	3,85	5,66
total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

*Recalculado siguiendo a Droop 1987

gitud que ronda los 100 micrones, posee una extinción máxima en sus secciones longitudinales inferior a 10°, incluso algunas de ellas presentan extinción paralela.

Por su parte, el piroxeno obtenido de la labor 4 se conserva más fresco y conforma un cuerpo de roca de color castaño oscuro, que aflora a lo largo de 5 metros. Los cristales son prismáticos, euhédricos, de hasta 7 centímetros de longitud, muchos de ellos forman agregados de individuos radiados.

Los resultados obtenidos por microsonda electrónica, expresados en porcentaje en peso de óxidos y en cationes por unidad de fórmula (sobre la base de 6 oxígenos), se muestran en los cuadros 3 y 4.

La composición química de los piroxenos analizados (en proporciones moleculares) fue graficada en un diagrama ternario hedenbergita – johansenita - diópsido (Fig. 5), con el objeto de comparar su variación composicional, con la de piroxenos de otros *skarns* de hierro estudiados por Meinert (1984). El piroxeno de la labor 3, debido a su alto porcentaje de hierro (recalculado a FeO y Fe₂O₃, siguiendo a Droop 1987) queda comprendido en el campo de la hedenbergita (Hd₉₁₋₉₈). Si bien la hedenbergita posee normalmente MnO en su composición química, el piroxeno de la labor 4 denota un alto contenido en ese óxido (7% en peso) y en FeO (Fe total expresado como FeO),

Cuadro 4: Composición química del piroxeno de la labor 4.

% en peso										
	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P10	P11	P12	
SiO ₂	48,40	47,54	47,43	47,21	48,97	48,15	47,5	47,34	47,89	
Al ₂ O ₃	0,48	0,44	0,44	0,46	0,57	0,15	0,17	0,15	0,54	
FeO	21,30	20,51	21,38	21,15	21,28	20,57	20,60	18,81	21,23	
MnO	6,97	6,81	7,00	6,79	6,88	7,00	7,39	7,05	7,15	
MgO	0,73	0,81	0,85	0,90	0,63	0,92	0,71	2,04	0,79	
CaO	22,63	22,52	21,85	22,24	22,77	22,7	22,7	22,52	22,80	
Na ₂ O	0,07	0,14	0,06	0,12	0,14	0,03	0,01	0,10	0,10	
total	100,6	98,8	99,1	98,9	101,3	99,6	99,2	98,0	100,5	
Número de cationes por unidad de fórmula, sobre la base de 6 oxígenos.										
Si	1,98	1,98	1,98	1,97	1,98	1,99	1,98	1,97	1,97	
Al(IV)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	
suma	2,00	2,00	2,00	1,99	2,01	2,00	1,99	1,98	2,00	
Al(VI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,13	0,05	
Fe ²⁺	0,73	0,71	0,74	0,74	0,72	0,71	0,72	0,66	0,73	
Mn	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	
Ca	0,99	1,00	0,97	0,99	0,99	1,01	1,01	1,01	1,00	
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	
suma	2,01	2,02	2,02	2,04	2,00	2,02	2,04	2,05	2,03	
total	4,01	4,02	4,02	4,03	4,01	4,02	4,03	4,03	4,03	
Mol %										
Hd	71,87	71,09	71,26	71,35	72,46	70,23	70,20	63,57	71,09	
Dio	4,34	4,98	5,08	5,42	3,82	5,54	4,31	12,31	4,69	
Jo	23,79	23,93	23,66	23,23	23,72	24,23	25,49	24,13	24,22	
total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

por lo que ha sido definido como un miembro intermedio en la serie continua hedenbergita – johansenita (Deer *et al.* 1972) o Hd₆₄₋₇₃.

Granate: Se analizaron granates provenientes de la labor 3. Estos se encuentran incluidos en agregados de anfíboles, de hábito fibroso. El granate es castaño oscuro, desarrolla granos equidimensionales cuyo tamaño ronda los 0,2 milímetros. Algunos de ellos son levemente anisótropos hacia los bordes, evidenciando zonación. Los principales resultados, expresados en porcentaje en peso de óxidos y cationes por unidad de fórmula (sobre la base de 24 oxígenos), se exponen en el cuadro 5. Los análisis revelan una relativa homogeneidad composicional, en la que se destacan altos contenidos en CaO, que promedian 23,5% en peso y en Fe₂O₃ (Fe total expresado como Fe₂O₃) que alcanza un valor medio de 10% en peso.

El granate está enriquecido en grosularia (Gr₇₁₋₇₆). En el diagrama piropo + espesartina – andradita – grosularia, (Fig. 6) se observa que la composición química del granate de “El Abuelo”, es congruente con el quimismo de granates de otros *skarns* de hierro estudiados por Meinert (1984).

Discusión y conclusiones

El *skarn* “El Abuelo”, así como otros *skarns* estudiados en el país por Franchini y Dawson (1999), se encuentra emplazado en un ambiente tectónico de arco magmático,

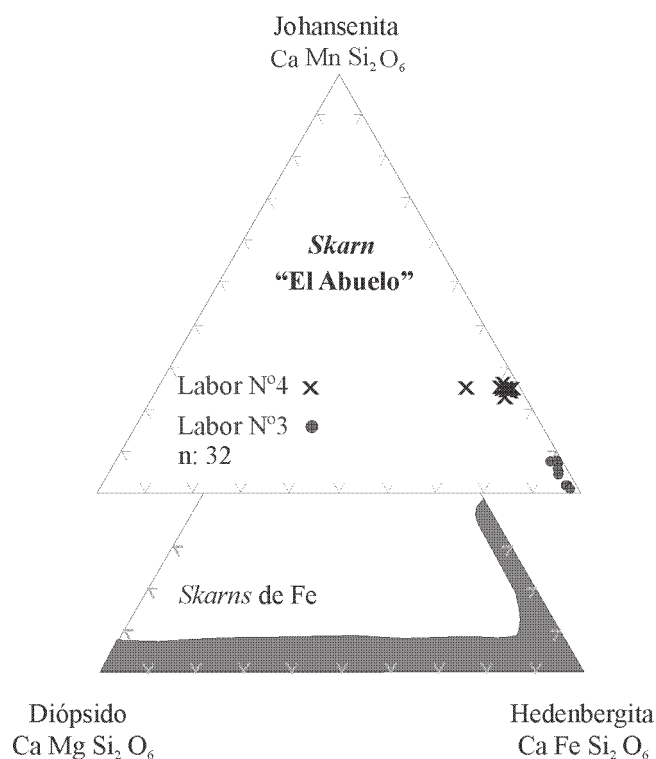


Figura 5: Variación composicional de los piroxenos identificados en «El Abuelo», comparada con piroxenos de skarns de Fe, estudiados por Meinert (1984).

desarrollado sobre corteza continental. Está asociado a pequeñas intrusiones de cuerpos ígneos, de composición riodacítica, que están vinculadas al magmatismo cretácico que afectó a la comarca. El cuerpo ígneo al cual se vincula este skarn, fue asignado a la Formación El Gato y consiste en un dique con apófisis menores y vetas de cuarzo asociadas. El protolito sedimentario está integrado por sedimentitas marino – continentales de naturaleza silico-clástica, con delgadas intercalaciones carbonáticas (Formación Tres Lagunas), que no permitieron el desarrollo de una exoskarn de gran expresión areal.

La secuencia paragenética de los minerales reconocidos permitió definir al menos dos episodios (metasomático e hidrotermal), continuos en el tiempo, ambos desarrollados en las sedimentitas, constituyendo el exoskarn:

1- Un estadio inicial originado por fluidos liberados tras la cristalización del magma riodacítico intruido, el cual durante su ascenso a la superficie, se infiltró en las rocas encajantes, incorporando soluciones derivadas de la decarbonatación de la caliza hospedante. De este modo se originaron reacciones químicas, en las cercanías del cuerpo intrusivo, que iniciaron un proceso de metasomatismo, evidenciado por la aparición de minerales calcosilicáticos tales como piroxeno (desde Hd₉₁₋₉₈, a Hd₆₄₋₇₃) y granate (Gr₇₁₋₇₆).

2- Un evento posterior, en el que se suman a los fluidos silíceos residuales aguas presumiblemente meteóricas, que ocasionaron la retrogradación parcial del skarn, que

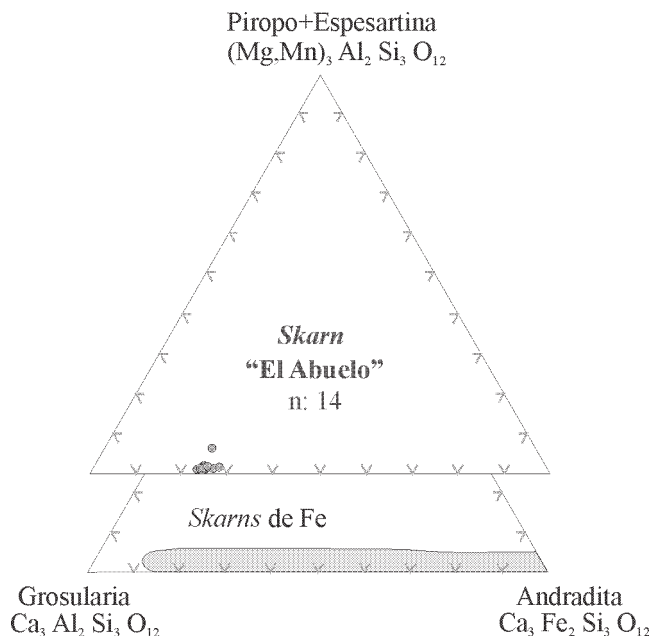


Figura 6: Composición del granate de «El Abuelo», comparada con otros skarns de Fe estudiados por Meinert (1984).

queda de manifiesto con la paragénesis de minerales hidratados (actinolita y clorita), y la posterior deposición de hematita, magnetita y sulfuros de hierro (pirita y calcopirita) acompañados de sílice.

La distribución de las zonas minerales (zona de granate-anfíbol, anfíbol-piroxeno y piroxeno) en las sedimentitas, sugiere que durante la formación del skarn la composición litológica de la caliza desempeñó un control químico en el desarrollo de los minerales. El enriquecimiento en manganeso que se produce en los piroxenos desarrollados en la parte distal del exoskarn, es coincidente con la reconocida por Meinert (1984) en dos skarns de hierro de la Columbia Británica occidental (Iron Hill y Paxton). Del mismo modo la variación en la composición química del granate de «El Abuelo» es comparable con los resultados obtenidos por Meinert (1984) en otros skarns de hierro de la Columbia Británica.

La presencia de fracturas preexistentes favoreció la circulación de los fluidos hidrotermales, y la deposición de cuarzo, acompañado de hematita, magnetita, sulfuros de hierro y adularia.

Considerando la asociación de minerales calcosilicáticos presente, el rango de variación en la composición química de los piroxenos y granates y la mineralización identificada (magnetita y hematita), se interpreta que el skarn «El Abuelo» es cálcico y su metal dominante es hierro, de acuerdo a la clasificación mineralógica-económica propuesta por Einaudi *et al.* (1981). Si bien no se realizaron sondeos exploratorios en el Cerro Pepita, las pequeñas dimensiones que presenta el cuerpo mineralizado en superficie, no consignan posibilidades de que este cuerpo constituya un blanco de interés exploratorio por hierro.

Cuadro 5: Composición química del granate de la labor 3.

% en peso									
	N10	N20	N22	N23	N26	N27	N28	N30	N33
SiO ₂	38,64	38,67	38,32	38,55	38,49	38,10	38,49	38,45	38,90
TiO ₂	0,06	0,08	0,08	0,14	0,03	0,05	0,08	0,03	0,17
Al ₂ O ₃	25,38	25,77	24,45	25,39	25,54	23,98	25,63	25,63	25,80
Fe ₂ O ₃	9,75	9,72	11,00	9,82	10,12	11,63	9,95	9,73	9,43
MnO	0,18	0,36	0,32	0,21	0,31	0,26	0,51	0,30	0,18
MgO	0,00	0,01	0,06	0,02	0,01	0,12	0,02	0,01	0,02
CaO	23,75	23,81	23,47	23,71	23,38	23,62	23,30	23,56	23,76
total	97,76	98,42	97,71	97,85	97,88	97,77	98,00	97,72	98,26
Número de cationes por unidad de fórmula, sobre la base de 24 oxígenos.									
Si	5,42	5,91	5,95	5,93	5,92	5,93	5,91	5,93	5,94
Al(IV)	0,58	0,09	0,05	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,06
suma	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al(VI)	4,03	5,91	4,53	4,53	4,56	4,33	4,56	4,57	4,58
Ti	0,01	0,09	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,08	0,02
suma	4,04	4,57	4,54	4,55	4,56	4,31	4,57	4,57	4,60
Fe ³⁺	1,26	1,24	1,43	1,26	1,30	1,52	1,28	1,25	1,20
Mn	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,07	0,04	0,02
Mg	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
Ca	3,91	3,90	3,90	3,91	3,85	3,94	3,84	3,88	3,89
suma	5,19	5,20	5,34	5,20	5,20	5,52	5,19	5,18	5,12
total	15,23	15,77	15,92	15,75	15,76	15,86	15,75	15,75	15,72
Mol %									
Py	0,02	0,06	0,26	0,10	0,06	0,51	0,12	0,06	0,10
Sp	0,44	0,89	0,78	0,52	0,77	0,62	1,27	0,75	0,45
Gr	75,37	75,12	72,46	75,11	74,13	71,43	73,97	75,00	75,93
Ad	24,17	23,94	26,50	24,27	25,04	27,45	24,64	24,19	23,52
total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Agradecimientos

La autora expresa su agradecimiento a la Dra. M. Franchini, Dr. R. de Barrio, Dr. P. Gonzalez y al Dr. I. Schalamuk por la lectura enriquecedora del manuscrito. Al Dr. C. Recio, de la Universidad de Salamanca, y al Dr. A. Martín Izard, del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, por las facilidades brindadas para la obtención de los datos isotópicos y microanalíticos incluidos en el presente trabajo. A los árbitros de esta Revista Dr. M. Galliski y Dr R. Lira por sus valiosas sugerencias y especialmente al Dr. R. Etcheverry por su contribución en la ejecución de los trabajos de campo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bowman, J., 1998. Stable-isotope systematics of *skarns*. In: Lentz D. (Ed.): Mineralized intrusion related *skarn* systems. Mineralogical Association of Canada, short course, 26: 99-143.
- Canafoglia, M., Ramis, A., Botto, L., Cabello, C., Lanfranchini, M., Schalamuk, I. y Minelli, G., 2002. Efecto térmico y del ambiente reductor sobre la estabilidad de un mineral de la serie hedenbergita - johansenita. Actas 6° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis: 57-62, La Plata.
- Clayton, R. y Mayeda, T., 1963. The use of bromine pent fluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. Actas Geochemistry et Cosmochemistry, 27: 43-52.
- Dawson, K., 1998. Field examinations of *skarn* deposits in Argentina. Pasma *Skarn* Project. (Informe Inédito), Buenos Aires.
- Deer, W., Howie, R. y Zussman, J., 1972. Chain silicates. In: Longmann Scientific and Technical (Ed.): Rock-forming minerals, 2nd edition: 170-176, England.
- Droop, G., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. Mineralogical Magazine, 51:431-43
- Einaudi, M., Meinert, L. and Newberry, R., 1981. *Skarn* deposits. Economic Geology, 75th Anniversary Volume: 317-391.
- Franchini, M. y Dawson, K., 1999. Manifestaciones metálicas asociadas a *skarns* del sudoeste de Mendoza y noroeste del Neuquén. En: E. Zappettini (Ed.): Recursos minerales de la República Argentina. Anales 35: 1535-1545.
- Folguera, A., Vieira, J. y Gómez, A., 2000. Evolución Geológica de los Andes, del Lago La Plata (45° S). Actas 9° Congreso Geológico Chileno 2: 197-200, Puerto Varas.
- Graham, C., Harmon, R. and Sheppard, S., 1984. Experimental hydrogen isotope studies: Hydrogen isotope exchange between amphibole and water. American Mineralogist, 69: 128-138.
- Hayase, K., Gelós, E. y Labudía, C., 1972. El Yacimiento de hierro Mina El Abuelo, Alto Río Senguerr, Provincia del Chubut, República Argentina. Actas 5° Congreso Geológico Argentino 2: 123-136, Córdoba.
- Hayase, K. y Labudía, C., 1972. Presencia de mangano-hedenbergita en el Yacimiento de Hierro, Mina El Abuelo, Departamento Río Senguerr, Provincia del Chubut, República Argentina. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología, 3 (1-2): 27-34.
- Lanfranchini, M., 2002. Rasgos geológicos y metalogénesis de la Sierra de Payaniyeu y sus alrededores, Provincia del Chubut, Argentina. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 771, 222 pp., (inédito), La Plata.
- Medina, A. y Maisterrena, E., 1981. De las mineralizaciones de las Minas El Solcito y El Abuelo y su relación con la eruptividad, Departamento Río Senguerr, Provincia de Chubut. Actas 8° Congreso Geológico Argentino 4: 571-581, San Luis.
- Meinert, L., 1984. Mineralogy and petrology of Iron *Skarns* in Western British Columbia, Canada. Economic Geology, (79) 5: 869-882.
- Meinert, L., 1987. *Skarn* zonation and fluid evolution in the Groundhog Mine, Central Mining District, New México. Economic Geology, 82 (3): 523-545.
- Ploszkiewicz, J., 1987. Descripción Geológica de la Hoja 47 c, Apeleg, Provincia del Chubut. Dirección Nacional de Minería y Geología, Boletín 204, 100 pp., Buenos Aires.
- Ploszkiewicz, J. y Ramos, V., 1977. Estratigrafía y Tectónica de la Sierra de Payaniyeu (Provincia del Chubut). Revista de la Asociación Geológica Argentina 32 (3): 209-226.
- Ramos, V., 1976. Estratigrafía de los Lagos Fontana y La Plata (Chubut), Argentina. Actas 1° Congreso Geológico Chileno 1 (A): 43-64, Santiago de Chile.
- Ramos, V., 1981. Descripción geológica de la Hoja 47 a b «Lago Fontana». Provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 183, 156 pp., Buenos Aires.
- Sheppard, S., 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters. Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. In: J. Valley, H. Taylor Jr. y J. O' Neal (Eds.): Reviews in Mineralogy, 16: 165-183.
- Zheng, Y., 1993. Calculation of oxygen isotope fractionation in hydroxyl - bearing silicates. Earth Planetary Scientific Letter, 120: 247-263.

Recibido: 15 de diciembre, 2003
Aceptado: 10 de octubre, 2004