

# Secuencia de emplazamiento, alteración hidrotermal y metamorfismo en el Complejo Intrusivo de Jörn, distrito minero de Skellefte, norte de Suecia

Emplacement, hydrothermal alteration and metamorphism sequence in the Jörn Granitoid Complex, Skellefte mining district, northern Sweden

M.J. González Roldán <sup>(1)</sup>, R.L. Allen <sup>(2)</sup>, T. Donaire <sup>(3)</sup> y E. Pascual <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ciencias Experimentales, Av. Fuerzas Armadas s/n 21071 Huelva, España. e-mail: manuel.gonzalez@dgeo.uhu.es

<sup>(2)</sup> Luleå University of Technology, Division of Ore Geology and Applied Geophysics SE-971 87 Luleå, Sweden. e-mail: rodallen@algonet.se

<sup>(3)</sup> Facultad de Ciencias Experimentales, Av. Fuerzas Armadas s/n 21071 Huelva, España. e-mail: donaire@uhu.es

<sup>(4)</sup> Facultad de Ciencias Experimentales, Av. Fuerzas Armadas s/n 21071 Huelva, España. e-mail: pascual@uhu.es

## ABSTRACT

The Skellefte district is one of the most important mining districts in Sweden, located in an early Proterozoic (1.90-1.87Ga) volcanic arc province in the Baltic Shield, northern Sweden. The district consists of a complex volcanosedimentary succession formed by submarine, mainly felsic, volcanic rocks named Skellefte Group, overlain by a subaerial, felsic volcanic succession named Arvidsjaur Group and shallow- to deep-marine sedimentary rocks known as Vargfors Group (Allen et al., 1996). The Jörn Granitoid Complex (JGC) crops out at the northern boundary of the Skellefte district, and is constituted by several intrusions ranging in composition from gabbro to granite. Some features of the JGC suggest that it is comagmatic with the volcanic rocks of the Skellefte and Arvidsjaur Group. Our recent study has revealed that earlier intrusives in the complex (GI) have significant geochemical differences with the rest of plutonic rocks in the complex (GII to GIV). Crystallization of GI was followed by intense hydrothermal alteration and late, regional contact metamorphism that do not affect the later GII to GIV facies. This sequence in time, together with the chemical contrasts between the successive Jörn facies, suggests that a significant time gap lasted between the emplacement of GI and the later plutonic rocks in the Jörn complex. This is probably relevant to the geological history and ore research in the district, in that a major change occurred between GI and the rest of the JGC facies, involving changes in the geochemical character of magmatism and coeval thermal activity.

\*for a full English version please send an e-mail to: manuel.gonzalez@dgeo.uhu.es

Key words: Jörn Granitoids, Skellefte district, Precambrian intrusions.

Geogaceta, 40 (2006), 115-118

ISSN: 0213683X

## Introducción

El distrito minero de Skellefte es una de las áreas de explotación minera más importantes de la península Escandinava. Ocupa un área de 120x30km en el norte de Suecia y contiene alrededor de 85 depósitos de sulfuros masivos con Zn-Cu-Au-Ag. El distrito forma parte del Escudo Báltico y contiene una compleja sucesión vulcanosedimentaria, metamorfizada en grado medio a bajo, con edades en las secuencias volcánicas U-Pb entre 1.90 y 1.87Ga (Allen *et al.*, 1996).

La mayor parte de los depósitos citados están relacionados en espacio y tiempo con una potente serie de rocas volcánicas calcoalcalinas, con composiciones que van desde andesita a riolita. Aparte de ellas, en la región afloran rocas plutónicas, asociadas a mineralizaciones de interés como el pórfido cuprífero de Tall-

berg, cuya composición ha sido considerada equivalente a la de las rocas volcánicas por diversos autores (Weiher, 1992). No obstante, y debido a la ambigüedad de los datos geológicos, geoquímicos y geocronológicos disponibles, este punto necesita un estudio más detallado y constituye uno de los objetivos finales de nuestro trabajo.

De hecho, el complejo de Jörn es el conjunto plutónico de mayor tamaño de la región, y en él tanto las relaciones espaciotemporales de las distintas facies como sus relaciones con el resto de las rocas del distrito son todavía mal comprendidas. En este trabajo se muestran los primeros resultados del estudio de este complejo plutónico, se establece la secuencia de emplazamiento de los diversos cuerpos intrusivos y se describe la alteración hidrotermal y el metamorfismo que afectan a las facies precoces del complejo plutónico.

## Geología Regional

La base de la secuencia en el distrito minero está formada por una serie de rocas volcánicas submarinas, principalmente andesíticas a riolíticas, denominadas Grupo Skellefte; dicho grupo está cubierto por las rocas volcánicas subaéreas, mayoritariamente félsicas, del Grupo Arvidsjaur. Las rocas sedimentarias marinas, someras a profundas, del Grupo Vargfors forman el techo de la serie y se consideran el equivalente lateral del Grupo Arvidsjaur (Allen *et al.*, 1996).

El Complejo Intrusivo de Jörn (JGC) ocupa el límite norte del distrito de Skellefte (Fig. 1), constituido por varias fases intrusivas que varían composicionalmente desde gabros hasta granitos. En él se han descrito cuatro facies principales, denominadas de GI a GIV (Wilson *et al.*, 1987) las cuales sugieren una actividad ígnea durante al menos 25 Ma. Diversas observaciones

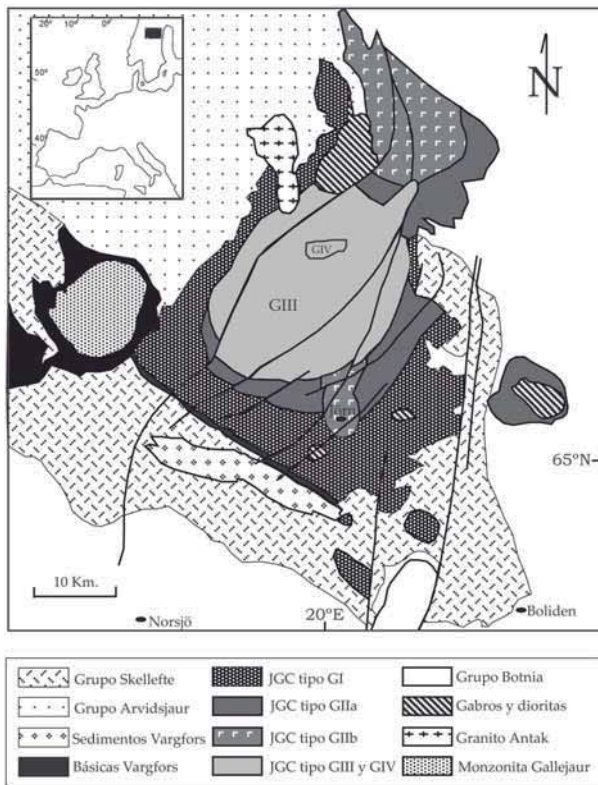


Fig. 1.- Esquema regional del distrito minero de Skellefte.

Fig. 1.- Regional draft of the Skellefte mining district.

toda una serie de intrusiones satélites de escasa entidad. Entre estas intrusiones de menor tamaño encontramos la intrusión de Rengård la cual se encuentra en relación (espacial?) con importantes yacimientos de sulfuro masivo como los de Petikträsk norte y sur, los cuales están siendo explotados actualmente. La nueva cartografía indica que la zona norte del complejo, antes descrita como GI indiferenciado, corresponde en realidad a GIIa y GIIb (ver Fig. 1).

- Grupo GII: subdividido en dos subfacies. GIIa, la cual no había sido descrita hasta el momento, es una granodiorita biotítica de grano medio. En cuanto a la subfacies GIIb, se trata de una cuarzo-monzodiorita piroxénica de grano fino rica en enclaves microgranulares, que sólo había sido descrita en la zona sur del complejo en las inmediaciones de la ciudad de Jörn. Ambas facies se relacionan siempre espacialmente y se localizan como una banda al norte de GI y en el norte del complejo, siempre alrededor de GIII. La relación intrusiva de GIIb cortando a GIIa muestra que es posterior a ésta. El plutón de Stavaträsk, que aflora al E del complejo de Jörn e intruye en materiales (meta)sedimentarios de la Cuenca de Botnia, es enteramente equivalente a GIIa y muestra una edad U-Pb de 1874Ma (Skiöld, 1988).

- Grupos GIII y GIV: ocupan la parte central del complejo. GIII está formado

sugieren que el complejo podría ser comagmático con el vulcanismo de Skellefte y Arvidsjaur, entre otras: composiciones similares a las rocas volcánicas del Grupo Skellefte y Arvidsjaur; edades radiométricas que se solapan a las obtenidas de los Grupos Skellefte, Vargfors y Arvidsjaur; contactos intrusivos con los Grupos Skellefte y Arvidsjaur, y abundantes clastos de las fases iniciales de Jörn en las partes medias y superiores del Grupo Vargfors (Lundberg, 1980; Claesson, 1985; Wilson *et al.*, 1987). Las rocas más precoces de Jörn (GI) muestran una característica textura cuarzo porfiroide, similar a la de numerosas intrusiones porfídicas riolíticas asociadas a mineralizaciones de sulfuros masivos dentro del Grupo Skellefte. Sin embargo, la comparación de la secuencia de emplazamiento en Jörn y en los grupos Skellefte y Arvidsjaur es difícil, en particular porque las dataciones realizadas hasta la fecha tienen grandes errores analíticos (Wilson *et al.*, 1987). Por otra parte, nuestras nuevas observaciones prueban que GI es mucho más complejo, y está compuesto a su vez por numerosas intrusiones de granodioritas, tonalitas y gabros. Son necesarias nuevas dataciones para resolver las complejas relaciones de las fases iniciales de JGC con el vulcanismo de Skellefte y las mineralizaciones.

(GI a GIV) y una máfica (gabro de Näsberget):

- Grupo GI (1889Ma a 1900Ma): tonalita, raramente trondhjemita, de grano medio generalmente con textura cuarzo porfídica. Constituye la zona sur del complejo y

**Subdivisión en facies del JGC**

La cartografía del JGC ha permitido redefinir las cuatro facies félsicas

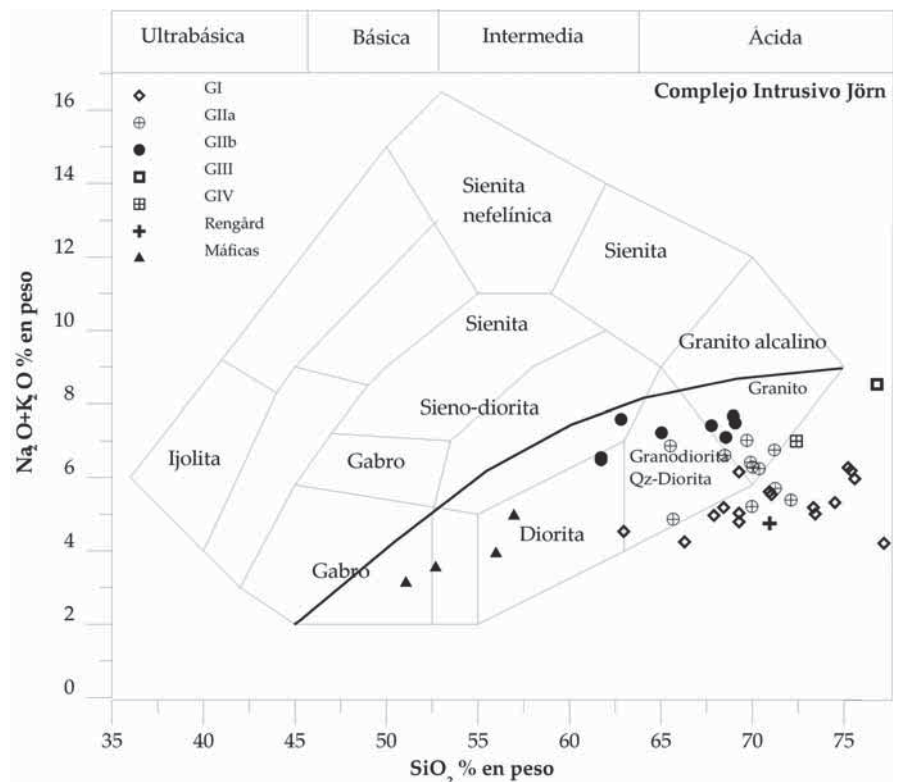


Fig. 2.- Diagrama TAS de muestras del Complejo Intrusivo de Jörn.

Fig. 2.- TAS diagram of samples from the Jörn Granitoid Complex.

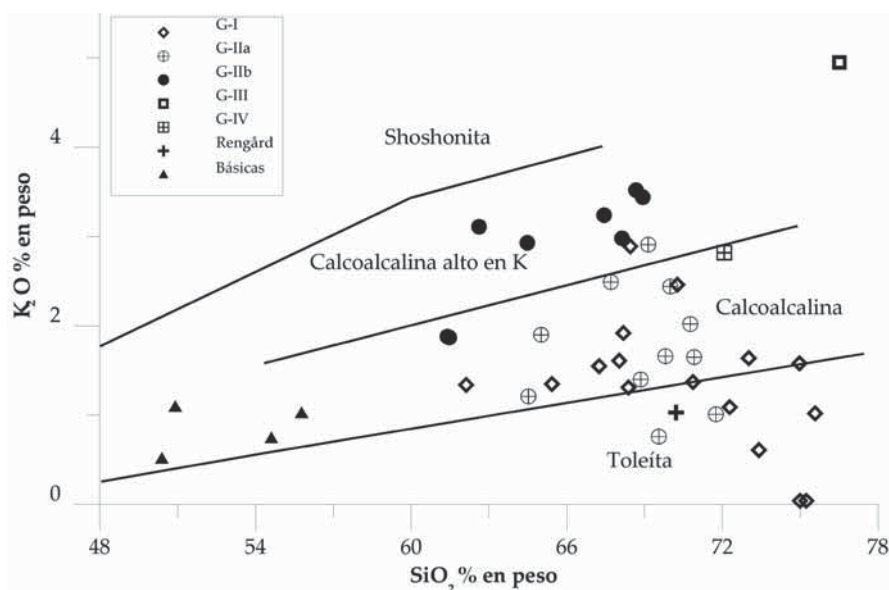


Fig. 3.- Diagrama  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  de muestras del Complejo Intrusivo de Jörn.

Fig. 3.-  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  diagram of samples from the Jörn Granitoid Complex.

por leuco-granodioritas/adamellitas de grano medio a grueso. GIV forma un pequeño plutón en la zona central con características petrográficas semejantes a las de GIII, pero de grano sistemáticamente más fino. Las determinaciones U-Pb dan edades en torno a 1873Ma (Skiöld, 1988).

- Las facies máficas de JGC son principalmente el gabro de Näsberget, que se organiza como un complejo bandeado relacionado con mineralizaciones de hierro, y toda una serie de intrusiones máficas de menor entidad, dispersas sistemáticamente en GI. Las facies máficas postdatan en todo caso a GI, aunque las relaciones con las facies GII a GIV no son claras.

### Deformación

Las relaciones de campo y petrográficas indican que el evento de deformación ocurre entre las facies GI y GII, en tanto que las facies GII y posteriores no muestran deformación. En general, ésta se refleja tan sólo en una cataclisis de tipo frágil sin orientación preferencial de los minerales deformados, aunque en determinadas zonas en que abundan los minerales secundarios (cuarzo, sericita y/o carbonatos) éstos pueden definir una foliación no bien desarrollada, comúnmente paralela al contacto sur de GI (NW-SE).

### Geoquímica

La tabla I muestra la composición promedio de las diferentes facies del JGC, en términos de elementos mayores

y de algunos elementos trazas seleccionados. El diagrama TAS (Fig. 2) muestra el carácter subalcalino de todas las rocas del JGC y sugiere además que muchas de las muestras de GI están silicificadas, ya que el valor de  $SiO_2$  aumenta significativamente para valores constantes de  $Na_2O + K_2O$ . La silicificación se aprecia también en el estudio textural de las alteraciones. Por ello también se han usado elementos inmóviles a la alteración en el estudio geoquímico.

La diferencia geoquímica entre GI y el resto de las facies del JGC se aprecia claramente en términos de elementos mayores y trazas. Puesto que las rocas han sido comúnmente descritas como calcoalcalinas, se ha utilizado el diagrama  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  (Fig. 3) para verificar ese carácter. El diagrama de elementos inmóviles de Winchester y Floyd (1977), aunque diseñado para rocas volcánicas, se ha utilizado también para clasificar las diferen-

tes facies con independencia de posibles procesos de alteración (Fig. 4). En cualquier caso, los datos que presentamos aquí, aunque significativos, son el primer avance de un estudio geoquímico más completo en preparación.

El diagrama  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  indica que las muestras de GI, GIIa y las rocas básicas espacialmente asociadas a GI muestran composiciones calcoalcalinas. Aunque varias muestras de GI se sitúan en el campo toleítico, dado que dichas muestras corresponden a los mayores contenidos en  $SiO_2$ , consideramos que se trata de muestras silicificadas que han perdido potasio durante la alteración. En definitiva, GI es probablemente, de composición calcoalcalina.

El diagrama  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  sugiere, además, que la evolución temporal del JGC implica generación de magmas calcoalcalinos altos en  $K_2O$  en las etapas magmáticas más tardías. En efecto, la práctica totalidad de las muestras de, GIIb, GIII y GIV, se sitúan en el campo de las rocas calcoalcalinas altas en potasio, sin que ello pueda ligarse a procesos de alteración.

El Diagrama de Winchester y Floyd (1977) confirma la misma conclusión. En este diagrama, además, no hay dispersión de las muestras de GI, lo cual es consistente con el carácter inmóvil durante procesos de alteración de los elementos utilizados. Es evidente que la razón Nb/Y aumenta significativa y sistemáticamente en las facies tardías del JGC para valores similares de  $Zr/TiO_2$ , de forma que GIII, GIV y un número notable de muestras de GIIa y b se clasifican como «traquian-desitas».

En conjunto, los datos muestran una variación sistemática del carácter geoquímico del magmatismo, que tiende a separar la geoquímica de GI del resto de facies del JGC. Es notable que GIIa es aparentemente semejante a GI en términos de

Tabla I.- Valores medios litogeoquímicos de las fases principales del Complejo Intrusivo Jörn. Elementos mayores en % en peso y trazas en ppm.

Table I.- Lithochemistry averages values of the main phases of the Jörn Granitoid Complex. Major elements in wt.% and trace elements in ppm.

JGC	GI	GIIa	GIIb	GIII	GIV
$SiO_2$	70,53	68,91	65,39	73,07	72,07
$TiO_2$	0,33	0,35	0,67	0,28	0,27
$Al_2O_3$	13,95	15,89	15,58	14,13	14,79
$Fe_2O_3$	4,37	3,34	4,91	2,10	2,44
MnO	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03
MgO	1,23	1,03	1,81	0,59	0,62
CaO	3,24	3,43	3,70	1,48	2,29
$Na_2O$	3,85	4,31	4,28	3,37	4,14
$K_2O$	1,36	1,77	2,87	4,27	2,82
$P_2O_5$	0,07	0,12	0,22	0,07	0,08
LOI	1,04	0,81	0,49	0,53	0,5
Total	100,03	100,00	99,99	99,94	100,05
Zr	143	120	244	124	127
Y	24	8	20	18	6
Nb	6	6	12	18	8
Ba	452	779	1057	645	811
Rb	30	46	76	151	91
Sr	195	550	544	290	496

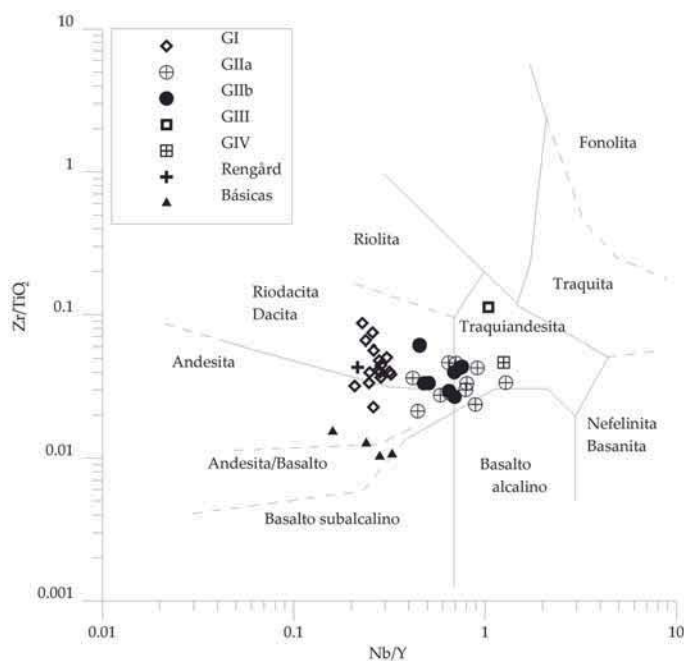


Fig. 4.- Diagrama de Winchester and Floyd (1977) para rocas volcánicas de las muestras del Complejo Intrusivo de Jörn.

Fig. 4.- Winchester and Floyd diagram for volcanic rocks of samples from the Jörn Granitoid Complex.

$K_2O/SiO_2$  en tanto que se sitúa con GIIb, GIII y GIV en términos de elementos inmóviles.

#### Alteración hidrotermal y metamorfismo

La alteración sobre granitoides afecta principalmente a la zona sur de GI y a las intrusiones satélites tipo GI que se localizan dentro del distrito de Skellefte. Se caracteriza por una alteración de los minerales máficos, biotita y hornblenda, a clorita y Fe-actinolita respectivamente. El Ca de las plagioclasas también se moviliza durante la alteración hidrotermal y cristaliza en forma de epidota secundaria. La mayoría de GI muestra una moderada a intensa silicificación, tal como se observa en el diagrama TAS (Fig. 2), en el que las rocas de GI muestran sistemáticamente muy altos valores en  $SiO_2$ . La alteración hidrotermal que afecta a la facies GI puede relacionarse con la que aparece en los halos de alteración relacionados con los yacimientos de sulfuros masivos del distrito de Skellefte.

El posterior metamorfismo en facies de anfibolita postdata la deformación y alteración hidrotermal. El metamorfismo aún no queda totalmente claro en su origen y tipo, pues muestra texturas de metamorfismo estático (metamorfismo de contacto regional; Spear, 1995). El estudio textural muestra claramente que la alteración y el metamorfismo son sucesivos, por cuanto las texturas metamórficas estáticas se desarrollan sistemáticamente

sobre las hidrotermales. No obstante, otras etapas pueden ser expresiones sucesivas de un mismo evento térmico regional (González-Roldán *et al.*, 2005). La alteración hidrotermal y el metamorfismo son exclusivos de GI.

#### Conclusiones

Existen dos grupos de facies descritas entre los granitoides del Complejo Intrusivo de Jörn, uno constituido por GI y las rocas básicas que contiene, y otro formado por GII, GIII y GIV. Las diferencias entre estos dos grupos son sistemáticas, y se reflejan en mineralogía, texturas, alteración, metamorfismo y rasgos geoquímicos. En particular, las diferencias geoquímicas que mostramos sugieren una evolución espaciotemporal que incluye variaciones significativas en el tipo de magma generado.

Por otra parte, la deformación, alteración hidrotermal y metamorfismo son también exclusivas de GI, lo cual permite una estimación del tiempo transcurrido entre ambos eventos, que necesariamente ocurrieron entre el emplazamiento de GI (1898Ma) y el de GII (1874Ma). Aunque las incertidumbres en las dataciones actualmente disponibles no permiten una consideración estricta de este intervalo de tiempo, es evidente que se trata de un intervalo potencialmente significativo, que abre la posibilidad de nuevas interpretaciones si se considera conjuntamente con la variación de la geoquímica de las rocas del JGC.

Aunque esta sea sólo una de las posibilidades a considerar, sugerimos que la generación de los sistemas hidrotermales y la progradación hasta un metamorfismo de contacto regional de grado medio que ocurre en el distrito de Skellefte afectando a GI podría estar también relacionada con anomalías térmicas ligadas a su vez, directa o indirectamente, a la generación y/o emplazamiento de rocas calcoalcalinas tardías altas en potasio, representadas por los granitoides de GII a GIV.

#### Agradecimientos

Trabajo financiado por el Proyecto 89124 «Characterisation of the ore horizons and alteration systems of the Skellefte district, northern Sweden» dirigido por Dr. Rodney Allen.

Este trabajo se integra en el Proyecto IGCP 502 «Global comparison of volcanic-hosted massive sulphides districts» dirigido por los Dres. R. Allen, F. Tornos, J. Peter y N. Çagatay.

#### Referencias

- Allen, R.L., Weihed, P. y Svenson, S-Å. (1996). *Economic Geology*, 91, 1022-1053.
- Claesson, L-Å. (1985). *Journal Geological Society London*, 142, 899-909.
- Lundberg, B. (1980). *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 102, 156-166.
- González-Roldán, M.J., Allen, R.L y Pascual, E. (2005). En: *Geological Association of Canada and Mineralogical Association of Canada (GAC-MAC). Annual Conference*, 15-18 May 2005, Halifax, Nova Scotia.
- Skiöld, T. (1988). *Precambrian Research*, 38, 147-164
- Spear, F.S. (1993). *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America, 2nd Ed. 779 p.
- Weihed, P. (1992). *Geology and genesis of the early Proterozoic Tallberg porphyry-type deposit, Skellefte District, northern Sweden*. Tesis Doctoral, Univ. de Goteborg, 147 p.
- Wilson, M. R., Sehlstedt, S., Claesson, L-Å., Smellie, J. A. T., Aftalion, M., Hamilton, P. J., y Fallick, A.E. (1987). *Precambrian Research*, 36, 201-225.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. (1977). *Chemical Geology*, 20, 325-343.