

3-1 LA ESFALERITA COMO GEOBAROMETRO. ANTECEDENTES PRELIMINARES
DE LOS SULFUROS POLIMETALICOS AL SUR DE CHILE.

* Guillermo Alfaro H., Dpto. de Geociencias, Universidad de Concepción. Concepción, CHILE.

RESUMEN

La utilización de esfalerita como geobarómetro, principalmente en menas sulfuradas de terrenos metamórficos, ha sido ampliamente discutida por numerosos autores. En este trabajo se presenta brevemente los antecedentes que han llevado a su aplicación, y se discute las restricciones a que está sometida esta herramienta mineralógica.

La conocida paragénesis pirita-calcopirita-pirrotina-esfalerita de los sulfuros polimetálicos de la Cordillera de la Costa del sur de Chile, permite obtener información sobre la presión confinante para el conjunto de minerales señalados, con base a la relación que existe entre la presión y el contenido de FeS en esfalerita, cuando este último mineral se encuentra en equilibrio con pirita y pirrotina hexagonal. El valor preliminar obtenido para muestras de Tirúa, Casa de Piedra y Pirén Alto es $2,4 \pm 0,5$ kbar, el cual es interpretado como la presión confinante correspondiente al metamorfismo regional que afectó a dichos minerales después de su formación.

ABSTRACT

The application of sphalerite as geobarometer, mainly in sulfide ores of metamorphosed terrains, has been discussed by many authors. In this paper, a short reference is made to support the physicochemical conception, but the restrictions of the mineralogical tool are also shown.

* Trabajo preparado en la Universidad de Heidelberg, Alemania, con el apoyo de la Fundación Alexander von Humboldt.

The known pyrite-pyrrhotite-sphalerite chalcopyrite paragenesis of the massive sulfides of the Coast Range, south of Chile, permits to get information about the confining pressure for that mineral association, assuming mineral equilibrium between these minerals. The average value received for samples of Tirúa, Casa de Piedra and Pirén Alto is 2.4 ± 0.5 kbar. this pressure is interpreted as the pressure of metamorphism that affected the sulfides after formation.

ANTECEDENTES

El uso de esfalerita para determinar algunos parámetros físico-químicos en la formación de sulfuros, a los cuales se encuentra asociada, fue propuesto por Kullerud (1953), después de estudiar el sistema Zn-Fe-S. Este investigador usó la esfalerita como geotermómetro basado en que el contenido de FeS disuelto en dicho mineral, cuando está en equilibrio con pirrotina, depende solamente de la presión y de la temperatura. Barton y Toulmin (1966) señalan que el sistema Zn-Fe-S es muy sensible a la presión y podría ser usado como geobarómetro. Scott y Barnes (1971) objetan el uso del sistema Zn-Fe-S como geotermómetro, con base a que el contenido de FeS en esfalerita, aún en equilibrio con pirrotina, depende, además de la P y T, de la fugacidad de S en el momento de la formación de los minerales. Estos autores estudian la influencia de la presión en el sistema esfalerita-pirita-pirrotina, para rangos de temperaturas entre 300°C y 700°C, demostrando que el contenido de FeS en esfalerita es independiente de la temperatura, concordando con lo señalado por Barton y Toulmin (1966). Los datos obtenidos por dichos autores fueron mejorados y extendidos por estudios experimentales (Scott, 1973, 1976; Browney y Lovering, 1973; Scott et. al. 1977; Lusk y Ford, 1978; Hutchison y Scott, 1981; etc.).

A partir de 1974, diferentes investigadores destacan la influencia en el contenido de FeS en esfalerita (y por lo tanto en la presión calculada) de otros elementos (Brown et. al, 1978; Craig y Scott, 1974; Wiggins y Craig, 1980; Törnroos, 1982).

La presencia de esfalerita asociada a pirita, pirrotina y calcopirita en los sulfuros polimetálicos del Basamento Metamórfico del sur de Chile (Fig. 1), ha permitido obtener información geobárica preliminar en este ámbito geológico.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SULFUROS POLIMETÁLICOS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DEL SUR DE CHILE.

Los sulfuros masivos polimetálicos, compuestos principalmente de pirita, calcopirita, esfalerita, se encuentran como "mantos", concordantemente con la estratificación. Las rocas huésped son esquistos de cuarzo-albita-clorita-epidota ("esquistos verdes"), interestratificados con esquistos de albita-muscovita-epidota ("esquistos grises"). Estas rocas son parte de la Serie Occidental del Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa del Sur de Chile.

Los "esquistos verdes" son producto del metamorfismo del basaltos tholeiíticos submarinos. Los "esquistos grises", con base a su textura y composición química, son probablemente metapelitas.

Los sulfuros masivos forman una secuencia de capas en nítido contacto con los "esquistos verdes", con espesores variables entre 5 y 50 cm. La extensión lateral es desconocida. El mineral principal es pirita, seguido por calcopirita y esfalerita. Subordinadamente hay calcosina rodeando cristales de pirita.

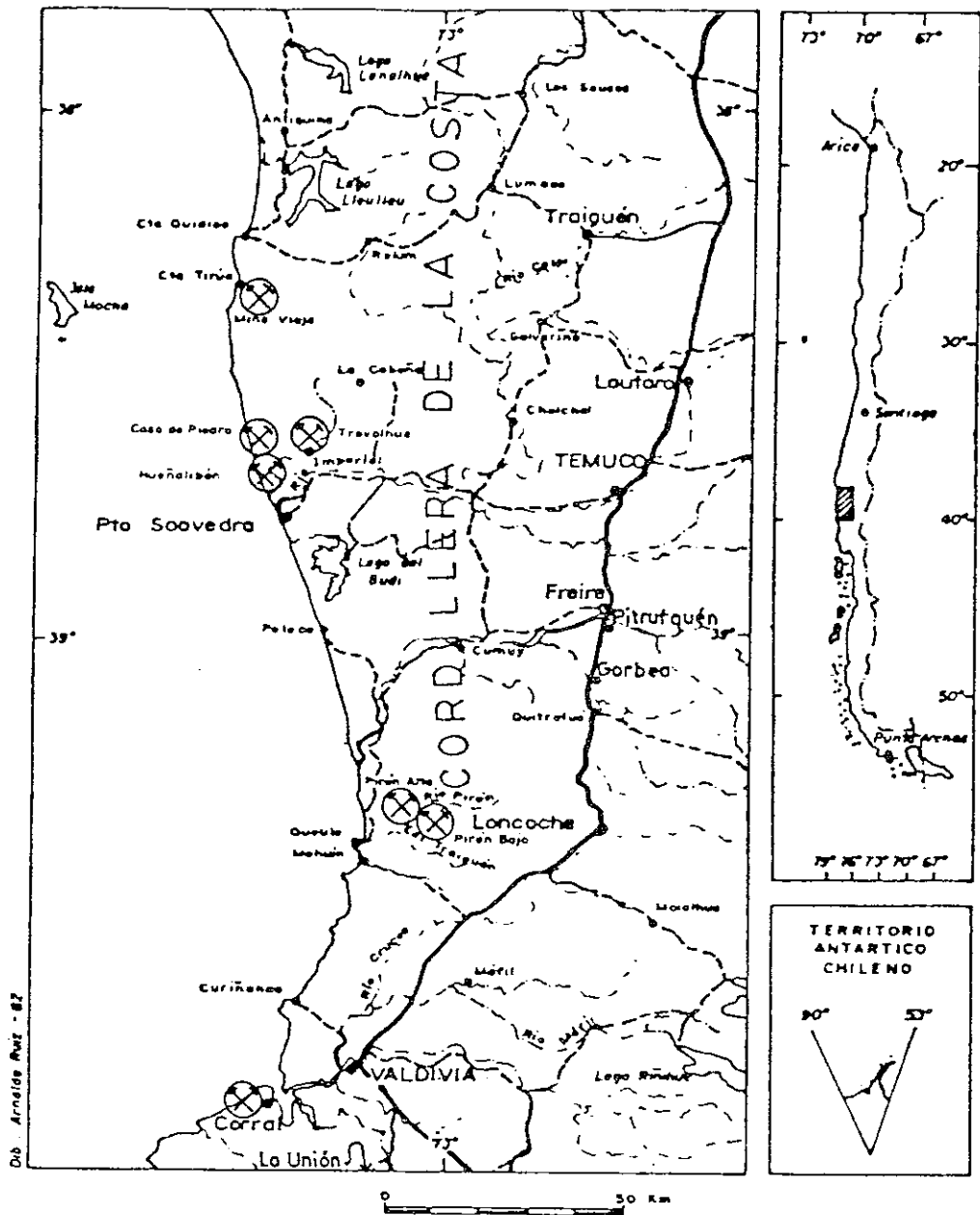


Fig.1. Mapa de Ubicación.

Los elementos más importantes que aparecen en los mantos de sulfuros son: hierro (38-41%), cobre (0,45-1.7%) y zinc (0.1-2.0%). Estos valores corresponden al mínimo y máximo detectados en 42 análisis.

METODOLOGIA.

La asociación mineralógica pirita-calcopirita-pirrotina-esfalerita es común en los sulfuros polimetálicos del sur de Chile (Collao y Alfaro, 1982; Alfaro et. al., 1983); sin embargo no es fácil encontrar esfalerita en equilibrio con pirita y pirrotina para efectuar las determinaciones. Ubicado el cristal apropiado bajo el microscopio se procedió a efectuar la determinación de la composición química mediante microsonda electrónica (Figs. 2 y 3; Tabla 1). Las determinaciones fueron hechas en la Universidad de Tohoku, Japón, mediante una microsonda Shimadzu ARL (con voltaje de aceleración 20KV, standards para Cu, Fe, Zn, S y Mn: calcopirita natural, ZnS sintético y MnS sintético respectivamente). Nuevas medidas se hicieron en la Universidad de Heidelberg, Alemania, con una microsonda CAMECA (voltaje de aceleración 20 KV; standards para Cu, Fe, Zn, S, Mn y Cd: calcopirita, pirita y esfalerita natural y manganeso y CdS sintético).

Los valores obtenidos (Tabla 2) fueron colocados en un diagrama mol % FeS en esfalerita versus presión (Lusk y Ford, 1978) (Fig. 4).



Fig. 2. Pirita-pirrotina-esfalerita (Casa de Piedra) (x 80)

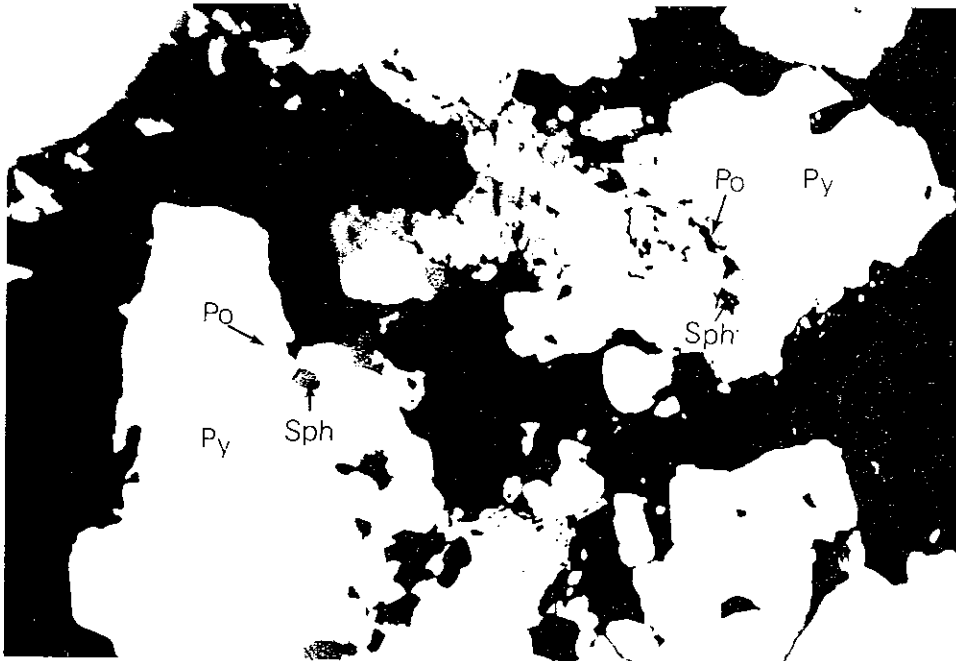


Fig. 3. Pirita-pirrotina-esfalerita (Pirén Alto) (x 80)

MUESTRA	PUNTO	Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	S	TOTAL	LUGAR
PA*	1	57.7	8.2	0.2	0.1	0.1	33.2	99.5	PIREN
PA*	2	58.2	7.9	0.1	0.1	0.2	33.1	99.6	"
PA*	3	57.6	8.5	0.0	0.1	0.2	33.3	99.7	"
PA*	4	59.3	7.2	0.0	0.1	0.1	33.1	99.9	"
PA*	5	57.6	8.5	0.3	0.1	0.2	33.1	99.7	"
PA*	6	57.5	8.2	0.0	0.1	0.2	33.1	99.1	"
PA*	7	60.0	7.2	0.0	0.1	0.2	33.4	100.9	"
PA*	8	58.0	8.2	0.1	0.1	0.2	33.2	99.8	"
187*	1	65.2	1.5	0.3	0.0	0.7	32.9	100.6	Casa de Pied
187*	2	65.5	0.7	0.1	0.0	0.8	33.2	100.3	"
187*	3	64.9	1.6	0.3	0.0	0.9	32.7	100.3	"
187*	4	64.7	1.5	0.2	0.0	0.7	32.9	100.2	"
187*	5	64.9	1.1	0.5	0.0	0.7	33.0	100.2	"
187*	6	66.0	0.7	0.1	0.0	0.7	33.0	100.5	"
187*	7	64.9	1.5	0.2	0.0	0.8	33.0	100.4	"
C-1*	1	55.4	9.8	0.9	0.2	0.6	33.1	100.0	TIRUA
C-1*	2	55.6	10.1	0.1	0.2	0.6	33.3	99.9	"
C-1*	3	56.4	9.6	0.4	0.2	0.5	33.3	100.4	"
C-1*	4	55.4	9.5	0.3	0.2	0.6	33.3	99.3	"
C-1*	5	54.2	10.6	0.3	0.2	0.6	33.3	99.2	"
C-7*	1	55.4	10.2	0.2	0.2	0.5	33.1	99.6	"
C-7*	2	55.5	10.1	0.4	0.3	0.5	33.0	99.8	"
C-7*	3	55.1	10.5	0.3	0.2	0.5	33.2	99.8	"
C-7*	4	54.3	10.6	0.7	0.2	0.6	33.1	99.5	"
C-7*	5	55.6	9.8	0.1	0.1	0.4	33.0	99.0	"
C-7*	6	55.5	10.1	0.4	0.2	0.5	33.2	99.9	"
C-7*	7	55.0	10.5	0.6	0.2	0.6	33.2	100.1	"
A-1**	1	59.8	7.3	0.4	< 0.1	< 0.1	32.73	99.9	PIREN
A-2**	1	60.49	6.8	0.3	< 0.1	0.2	31.70	99.29	"
A-2**	2	59.72	7.1	0.0	< 0.1	0.0	32.53	99.38	"
A-2**	3	58.75	7.65	0.3	< 0.1	0.0	33.32	99.78	"
A-2**	4	58.41	7.7	0.2	< 0.1	0.0	32.47	98.15	"
A-3**	1	58.38	7.4	0.1	< 0.1	0.2	31.78	97.86	"
A-3**	2	59.0	7.5	0.0	0.0	0.12	32.27	98.92	"
A-3**	3	58.86	7.92	0.0	0.026	< 0.1	33.68	100.6	"
A-3**	4	58.84	6.7	0.3	< 0.1	0.0	32.18	97.8	"

TABLA 1

COMPOSICION QUIMICA DE ESFALERITAS

* Determinaciones efectuadas en la Universidad de Tohoku, Japón.

** Determinación efectuada en la Universidad de Heidelberg, Alemania.

TABLA 2

Presión confinante obtenida a partir del contenido de FeS (mol %) en esfalerita en equilibrio con pirita y pirrotina. (Lusk and Ford, 1978).

MUESTRA	PUNTO	FeS(mol %)	P(kbar)
C-1	1	16.8	3.0
C-1	2	17.4	2.4
C-1	3	16.4	3.3
C-1	4	16.5	3.1
C-1	5	18.4	1.6
C-7	1	17.5	2.3
C-7	2	17.3	2.4
C-7	3	18.0	1.9
C-7	4	18.2	1.7
C-7	5	17.0	2.7
C-7	6	17.3	2.4
C-7	7	17.9	1.9

RESTRICCIONES

El uso de la esfalerita como geobarómetro está sujeto a varias restricciones. En general, ellas pueden agruparse en:

- a.- Restricciones relacionadas con el equilibrio de los minerales presentes (esfalerita-pirrotina-(hierro) o esfalerita-pirrotina-pirita).
- b.- Restricciones debido a la presencia de impurezas en la esfalerita.

En el primer caso se usa como evidencia de equilibrio el contacto mutuo de la pirrotina y pirita con la esfalerita. Esfalerita en contacto sólo con pirita contiene menos FeS que el correspondiente a la presión considerada; al contrario, esfalerita en contacto con pirrotina solamente es más rica en FeS (Scott, 1976).

Por otra parte, el FeS contenido en la esfalerita en contacto con pirrotina monoclinica es inferior al que se encuentra en la esfalerita en equilibrio con pirrotina hexagonal (Scott y Kissin, 1973).

La influencia de la temperatura con el contenido de FeS en esfalerita con pirrotina y pirita es desechable, al menos entre los 300° y 600°C. Sobre los 600°C las isobaras se curvan, indicando que el contenido de FeS en la esfalerita depende de la temperatura (Fig. 4).

La presencia de otros elementos en la esfalerita, tales como Cu, pueden afectar las isobaras; sin embargo, el contenido de Cu es normalmente inferior que 1%, valor límite para considerarlo como impureza. Otros elementos trazas comunes como Cd y Mn, no afectan las isobaras (Scott y Barnes, 1971; Scott, 1973).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el contenido medio de FeS en esfalerita es $17,4 \pm 0,6$ mol %, valor que corresponde a $2,4 \pm 0,5$ kbar como presión confinante para la asociación esfalerita-pirita-pirrotina en equilibrio. Contenido más bajo de FeS en esfalerita se obtuvo cuando este mineral no está en contacto mutuo con pirita y pirrotina o aparece acompañado sólo por pirita (Fig.5).

Basado en las características genéticas de los sulfuros polimetálicos estudiados (Collao y Alfaro, 1982; Alfaro, et. al, 1983), la presión obtenida es interpretada como presión del metamorfismo y no como presión confinante en el momento de formación de los minerales.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los Profesores Dr. A. Sugaki y Dr. G. C. Amstutz, Directores del Institute of Mineralogy, Petrology and Economic Geology de la Universidad de Tohoku, Japón, y del Mineralogisch Petrographisches Institut de la Universidad de Heidelberg, Alemania, las facilidades otorgadas para analizar las esfalerita mediante microsonda electrónica. Especial agradecimiento se deben a los colegas Dr. A. Kitakase, de la Universidad de Tohoku, al Dr. L. Fontboté y Dr. O. Stahle de la Universidad de Heidelberg, la ayuda dispensada en los análisis. El estudio fue hecho en Heidelberg, en uso de una beca de la Fundación Alexander von Humboldt.

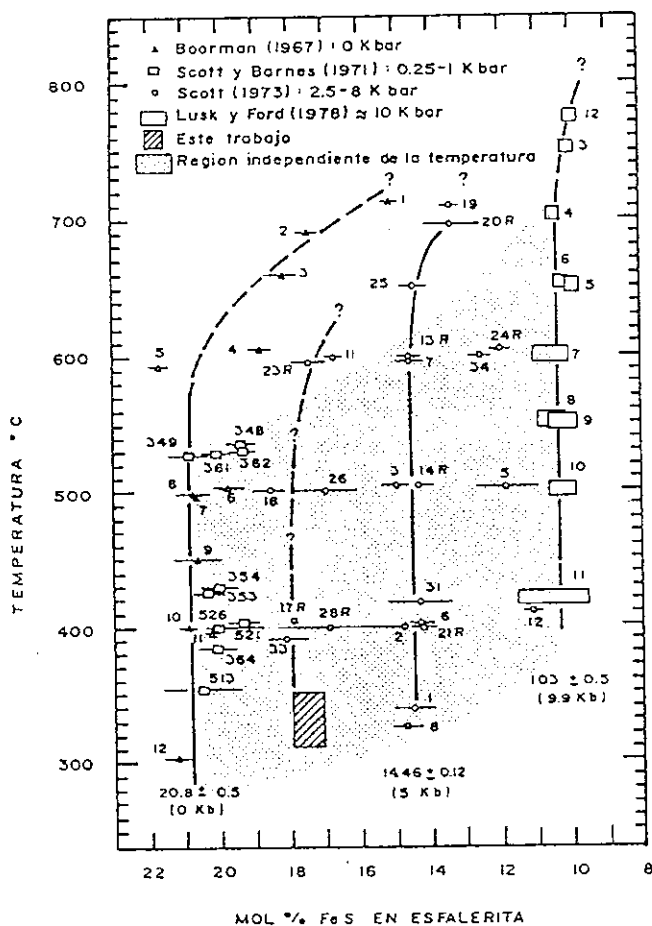


Fig. 4 Relación entre contenido de FeS (mol %) en esfalerita coexistiendo con pirita y pirrotina hexagonal. Curvas obtenidas a partir de los datos de las fuentes indicadas. (modificado de Lusk y Ford, 1978)

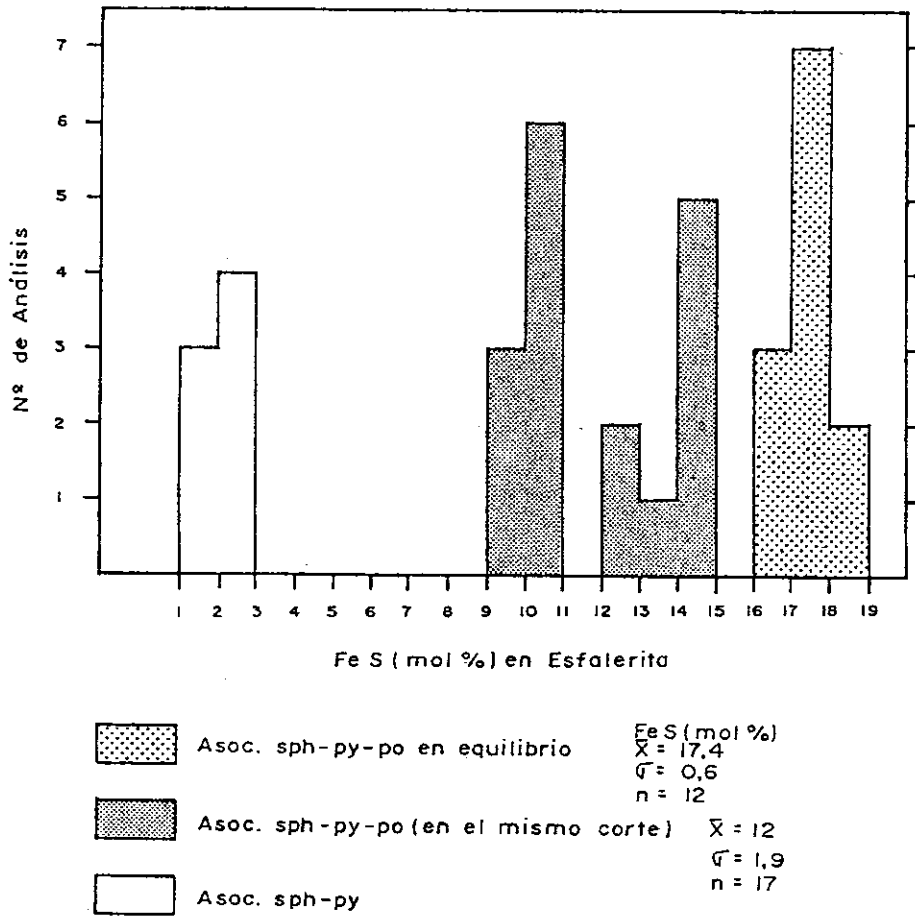


Fig. 5 Frecuencia de distribución de Fe S (mol %) en Esfalerita

REFERENCIAS

- ALFARO, G.; FRUTOS, J., COLLAO, S. y HELLE, S. (1983). Los sulfuros masivos del sistema paleozoico Andino, sur de Chile. II Congreso Argentino de Geología Económica, San Juan, Argentina p.
- BARTON, P. B. y TOULMIN, P. III (1966). Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system. *Ec. Geol.* 61:815-849.
- BOORMAN, R.S. (1967). Subsolidus studies in the ZnS-FeS-FeS₂ system. *Ec. Geol.* 62; 614-631.
- BROWN, P. E.; ESSENE, E. J. y KELLY, W.C. (1978). Sphalerite geobarometry in the Balmat-Edwards district, New York. *Amer. Miner.* 63: 250-257.
- BROWNE, P. R. L. and LOVERING, J.F. (1973). Composition of sphalerites from the Broadlands geothermal field and their significance to sphalerite geothermometry and geobarometry. *Ec. Geol.* 68: 381 - 387.
- COLLAO, S. y ALFARO, G. (1982). Mineralización sulfurada de hierro, cobre y zinc en la Cordillera de la Costa, sur de Chile. *Rev. Geol. de Chile*, 15:41-47.
- CRAIG, J. R. and SCOTT, S.D. (1974). Sulfide phase equilibria. in Ribbe, P. H. (Ed.). *Sulfide Mineralogy*. Mineral. Soc. of America, Short Course Notes 1, CS1-CS 104.
- KULLERUD, G. (1953). The FeS-ZnS system: a geological thermometer. *Norsk. Geol. Tidsskr.* 32: 61-147.
- HUTCHISON, M.N. y SCOTT, S.D. (1981). Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system. *Ec. Geol.* 76: 143-153.
- LUSK, J. and FORD, C.E. (1978). Experimental extension of the sphalerite geobarometer. to 10 kbar. *Amer. Miner.* 63:516-519.

- SCOTT, S.D. (1973). Experimental calibration of the sphalerite geobarometer. *Ec. Geol.* 68:466-474.
- SCOTT, S.D. (1976). Application of the sphalerite geobarometer to regionally metamorphosed terrains. *Amer. Miner.* 61:661-670
- SCOTT, S.D. y BARNES, H.L. (1971). Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Ec. Geol.* 66:653-669.
- SCOTT, S.D.; y KISSIN, S.A. (1973). Sphalerite composition in the Zn-Fe-S system below 300°. *Ec. Geol.* 68:475-479.
- SCOTT, S.D.; BOTH, R.A. and KISSIN S.A. (1977). Sulfide petrology of the Broken Hill region, New Wales. *Ec. Geol.* 72:1410 - 1425.
- TORNROOS, R. (1982). Sphalerite geobarometry of some metamorphosed sulphide ore deposits in Finland. *Geol. Survey of Finland, Bull.* 323, 42 p.
- WIGGINS, L. B. y CRAIG, J.R. (1980). Reconnaissance of the Cu-Fe-Zn-S system:sphalerite phase relationships. *Ec. Geol.* 75 : 742-751.