

TRABAJO 39

DATOS ISOTOPICOS DE LAS MINAS MAGNATA Y SENTAZON, DISTRITO MINERO GUALILAN, PROVINCIA DE SAN JUAN, REPUBLICA ARGENTINA*

Cristina Dapeña, y Héctor O. Panarello

Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS-CONICET),
Pabellón INGEIS -Ciudad Universitaria, Buenos Aires.

ABSTRACT. The first ^{34}S values from pyrite, sphalerite and gypsum and the ^{13}C and ^{18}O from limestones, belonging to Gualilán Mines (Magnata, Sentazón and -78 level of south pique) are presented.

^{34}S values, ranging from 0.5 to 3.7 ‰ vs. CDT (pyrite 2.4 to 3.7 ‰; sphalerite 0.5 to 2.0 ‰; gypsum 1.8 to 3.5 ‰) suggest magmatic hydrothermal fluids as the sulfur source. ^{34}S values on gypsum are similar to those of pyrite and sphalerite, indicating their supergene origin.

The application of isotopic geothermometers has not been possible because of the lack of purity in the samples and the scarce number of isotope pairs that do not allow to check if sulfides were precipitated in isotopic equilibrium conditions.

^{13}C values, grouped around 0 ‰ show the primary marine origin of limestones. ^{18}O values could be classified into two groups: one around 20 ‰ corresponding to a marine environment and other rounding 15 ‰ indicating isotope exchange with meteoric waters.

INTRODUCCION

Las minas de "Gualilán", ubicadas en la Precordillera sanjuanina están emplazadas principalmente en calizas del Ordovícico (F. San Juan) intruídas por dacitas de edad Terciaria (Plioceno ?). La mineralización, que consiste fundamentalmente en pirita aurífera, blenda argentífera ?, calcopirita y galena, está localizada con control por fallas en vetas concordantes con los planos de estratificación de la caliza y en vetas discordantes y en el contacto calizas con dacitas sin control por fallas donde se forma un skarn. La ganga corresponde fundamentalmente a fragmentos de la caja de caliza, agregados fibrosos radiales de hedembergita, andradita y cuarzo.

La génesis de este depósito mineral ha dado origen a dos teorías principales:

a) el depósito es sedimentario (singenético) y removilizado por magmatismo (Stoll, 1975);

b) el depósito es epigenético relacionado directamente con el magmatismo. (Fernández Lima y Oliveri, 1951; Angelelli *et al.* 1970; Oliveri, 1971; Pelichotti, 1976; Simon y Cardinali, 1990).

La aplicación de los estudios isotópicos del azufre permitirían determinar:

1) el origen del azufre de los sulfuros para establecer si es biogénico (sedimentario) o si proviene de una fuente magmática profunda (hidrotermal)

2) la temperatura de depositación de la mineralización.

Este trabajo se inició a través de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (Dapeña, C.) y se desarrolló durante 1986-1988 en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS). Se realizó una sola campaña de muestreo en octubre de 1986.

UBICACION DEL AREA

El Distrito minero de Gualilán está ubicado a 120 km por camino al NNO de la ciudad de San Juan (Km 63 de la RPNº 10), en el departamento de Ullún y a una altura de 1.750 m s.n.m. (Figura Nº 1)

Está integrado por varias minas situadas en dos elevaciones bajas, entre 100 y 150 m de altura, denominadas Cerro Sur y Cerro Norte, pertenecientes a una serie de farellones de rumbo general N-S que se elevan en una cuenca sin desagüe, llamada Pampa de Gualilán.

Este amplio valle, donde se levantan los cerritos de Gualilán, está limitado al E por las sierras del Sapo y Talacasto, al O por la sierra de la Invernada, al N por los cerros Colorados y del Yeso y al S por la prolongación de la Sierra de la Invernada.

YACIMIENTOS MINERALES. ANTECEDENTES

En estos depósitos realizaron estudios geológico-económicos muchos investigadores. Kittl (1931-32) los incluye en su trabajo sobre los yacimientos auríferos de la Argentina considerando de edad Terciaria y formados por procesos postvolcánicos de erupciones andesíticas y dacíticas. Según Angelelli (1936, 1950) se habrían formado por fenómenos de reemplazo (pirometasomáticos) en los calcáreos a temperaturas mayores de 550 °C siendo la roca madre la dacita de edad Terciaria (Plioceno). Fernández Lima y Oliveri (1951) en un estudio para la Dirección Nacional de Geología y Minería sostienen que se hallan relacionados genéticamente con la dacita (roca madre), que se originaron por reemplazo en la

* Contribución Nº 129 del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.



Figura 1: Mapa de ubicación.

caliza a alta temperatura y que las soluciones mineralizantes ascendieron en gran parte por fallas, siendo su edad seguramente del Plioceno Tardío al igual que la dacita. Angelelli *et al.* (1970) indican que los yacimientos son de tipo hidrotermal (hipotermal), de reemplazo en la caliza por soluciones hidrotermales con intenso metasomatismo en la roca de caja, los relacionan genéticamente con las efusiones dacíticas y les asignan una edad Terciaria. Angelelli *et al.* (1973) realizaron un estudio sobre blendas argentinas considerando al mineral de estos depósitos como de alta temperatura. Oliveri (1971) sostiene que se formaron por reemplazo hidrotermal de alta temperatura (hipotermal) en las calizas ordovícicas y relacionados a las efusiones dacíticas. Pelichotti (1976) realizó estudios más recientes para el plan San Juan de la Subsecretaría de Minería. Este autor reconoce tres sistemas de vetas clasificadas considerando sus relaciones con las entidades litológicas y las estructuras que las controlan; se habrían originado a partir de soluciones inicialmente de alta temperatura que ascendieron por los planos de fracturación coincidentes con la estratificación de la caliza generando por reemplazo el sistema principal de vetas (I), posteriormente se produjo el emplazamiento dacítico y finalmente se originaron los sistemas de vetas II y III a partir de soluciones mesotermiales que rellenaron fallas de alivio y espacios de contacto del citado cuerpo y la caliza. Además sostiene que esta asociación típica de minerales de contacto originada a partir de soluciones pneumatolíticas hidrotermales, aportadas por una masa ígnea, sería también la "madre" del pórfiro dacítico. Simón y Cardinali (1990) los clasifican como yacimientos hipogénicos, epigenéticos (relleno y reemplazo hidrotermal), donde el emplazamiento de las menas de sulfuros fue favorecido por la reactividad de la caliza formando un skarn en los contactos con los cuerpos mineralizados. La edad de los pórfiros

cuarcíferos es posterior al Carbónico, ya que intruyen areniscas de esa edad; un intrusivo similar fue datado en 209 ± 10 Ma. (Triásico-Jurásico) en la localidad próxima Cerro La Leona.

Stoll (1975) difiere del resto de los autores y asigna a estos yacimientos un posible origen singenético-sedimentario con deformación orogénica posterior debido a su tipo de estructura consistente en lentes concordantes de piritita-blenda con oro y silicatos metamórficos de contacto.

Finalmente Leveratto (1973) asigna una edad Mioceno medio a los cuerpos intrusivos (diques, filones capa y cuerpos mayores) presentes en Gualilán teniendo en cuenta que se han intruído después de fallamiento regional cortando las calizas cambro-ordovícicas, capas del Paleozoico inferior y Terciario, y además dataciones radiométricas de otros cuerpos similares aflorantes en Tucotá, Barreal y Ullún.

Este trabajo considera los aspectos isotópicos de los sulfuros, yeso y calizas encanjantes y se realizó exclusivamente en la zona sur, en las minas Magnata, Sentazón y escombrera del Pique Sur de Sentazón.

GEOLOGIA ISOTOPICA

Obtención y preparación de las muestras

Se extrajeron materiales de las minas Magnata y Sentazón y de la escombrera correspondiente al nivel -78 del Pique Sur de Sentazón. Se tomaron 21 muestras de la mena (piritita y blenda) y yeso y de caliza de la F. San Juan dentro de las labores. El muestreo fue realizado en aquellos sectores donde aún quedaba material, pues estos yacimientos fueron explotados intensamente.

Las muestras de la mina Magnata están ubicadas en la pared sur, la galería sobreveta del Nivel principal y en el Nivel inferior. Las de la mina Sentazón corresponden a la pared norte del nivel principal, a la pared oeste del sobreveta y a la escombrera del nivel -78 del Pique Sur al cual no se pudo acceder.

Los sulfuros colectados se molieron y tamizaron; luego las fracciones se separaron mediante el uso de la lupa binocular, obteniéndose 47 submuestras distribuidas en: piritita, blenda y yeso.

Los minerales portadores de azufre, ya separados y las muestras de caliza fueron molidos a malla menor que 100 para realizar los análisis isotópicos.

Sobre cada una de las fracciones de sulfuros se efectuaron análisis de difracción de rayos-X para verificar su pureza. De ellos surgió que algunas de las muestras presentaban cantidades de otro mineral que no había podido detectarse por medio de la lupa, por lo cual la muestra fue procesada y su valor isotópico considerado en conjunto pero descartado para geotermometría.

METODOLOGIA Y TECNICA EXPERIMENTAL

La metodología empleada para el estudio de los isótopos del azufre se basa en la medición de la relación $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ en las

muestras portadoras de azufre (sulfuros, sulfatos, azufre elemental, etc.) mediante un espectrómetro de masas con doble colector, para lo cual las mismas deben ser convertidas previamente en SO_2 (gas).

En el Laboratorio de Isótopos Estables del INGEIS para las muestras de sulfuros y azufre elemental se desarrollaron y se utilizan las técnicas creadas por Rieke (1964) y por Thode *et al.* (1961) para el sulfato. Las modificaciones y adaptaciones efectuadas en este laboratorio se describen en el trabajo de Panarello y Dapeña (1986).

La metodología empleada para el análisis y medición de las relaciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en las muestras de carbonatos se describen en Panarello *et al.* (1980).

Para la medición de las relaciones $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ se utiliza un espectrómetro de masas Micromass 602-D.

Las variaciones en la composición isotópica del azufre se expresan como $^{\circ}\text{oo}$ respecto de un patrón internacional (Panarello y Dapeña, 1986). Dicho patrón corresponde a la troilita del meteorito del Cañón del Diablo (CDT), Arizona, EE.UU., cuyo valor $^{\circ}\text{oo}$ es 0,0 o/oo y su relación $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ es igual a 0,045 (Ault y Jensen, 1963).

Para pares minerales coexistentes, en equilibrio isotópico, se define $\delta^{\circ}\text{S}$ como la diferencia entre $^{34}\text{S}_{\text{min1}}$ y $^{34}\text{S}_{\text{min2}}$ (Sakai, 1968).

Las variaciones en ^{13}C y ^{18}O se expresan en forma análoga (^{13}C y ^{18}O) y los patrones son PDB (Craig, 1957 y 1961) y VSMOW (Gonfiantini, 1978). Un valor positivo de $^{\circ}\text{oo}$ ^{13}C o ^{18}O indica que la abundancia del isótopo pesado (^{34}S , ^{13}C , ^{18}O) es mayor en la muestra que en el patrón, mientras que un valor negativo señala lo contrario.

Los análisis se realizaron por duplicado y en algunos casos triplicado en cada una de las fracciones, siendo el error analítico para el caso del azufre del 0,3 o/oo (2) y para el carbono y el oxígeno del $\pm 0,2$ o/oo (2).

Para poder comparar valores de $^{\circ}\text{S}$ con trabajos anteriores de estos autores se debe adicionar a los mismos 0,3 o/oo (Dapeña, 1988).

MUESTRA	$\delta^{13}\text{C}$
Mg C-1	-0.7 ± 0.2
S/C-1	-0.5 ± 0.2
S/C-2	-1.6 ± 0.1
S/C-3	-1.6 ± 0.1
S/PS/C-3	-0.8 ± 0.1
S/PS/C-2	-1.1 ± 0.1
S/PS/C-1	-0.4 ± 0.1

Cuadro 1: Valores ^{13}C de las calizas (C) (F.San Juan) en las Minas Magnata (Mg), Sentazón (S) y PiqueSur Nivel -78 de Sentazón (S/PS).

MUESTRA	$\delta^{18}\text{O}$
Mg C-1	14.0 ± 0.2
S/C-1	19.9 ± 0.2
S/C-2	14.9 ± 0.1
S/C-3	16.0 ± 0.1
S/PS/C-3	13.5 ± 0.2
S/PS/C-2	16.7 ± 0.2
S/PS/C-1	21.4 ± 0.2

Cuadro 2: Valores ^{18}O de las calizas (C) (F.San Juan) en las Minas Magnata (Mg), Sentazón (S) y PiqueSur Nivel -78 de Sentazón (S/PS).

ISOTOPOS DEL CARBONO Y DEL OXIGENO DE LAS CALIZAS.RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro I se presentan los valores ^{13}C de los carbonatos. Los mismos se agrupan alrededor de 0 o/oo e indican claramente su origen marino. Los valores ^{18}O presentados en el cuadro II podrían reunirse en dos grupos: uno alrededor de 20 o/oo que señala el origen marino primario de los carbona-

MUESTRA	MINERAL	$\delta^{34}\text{S}$
Mg 1	pi	3.0 ± 0.1
	bn	0.9 ± 0.2
Mg 2	pi	$*3.1 \pm 0.3$
	bn	1.3 ± 0.2
	y	2.1 ± 0.2
Mg 3	pi	3.3 ± 0.4
Mg 4	pi	2.6 ± 0.2
	bn	1.6 ± 0.3
Mg 5	pi	$*3.1 \pm 0.3$
	bn	2.0 ± 0.2
Mg 6	pi	$*2.8 \pm 0.3$
	bn	1.3 ± 0.1
	y	3.4 ± 0.2
Mg 7	pi	3.0 ± 0.3
Mg 8	pi	2.4 ± 0.4
	bn	1.3 ± 0.2
Mg 9	pi	3.5 ± 0.3
Mg 10	pi	2.6 ± 0.3
	bn	0.9 ± 0.1
Mg 11	pi	3.4 ± 0.2
	bn	1.5 ± 0.2
Mg 12	pi	3.1 ± 0.1
	bn	0.5 ± 0.2

pi=piritapi=pirita; bn=blenda; y=yeso
*=muestra impura.

Cuadro 3: Valores ^{34}S de los minerales en Mina Magnata (Mg).



MUESTRA	MINERAL	$\delta^{34}\text{S}$
S 1	pi	3.5 ± 0.1
	bn	1.4 ± 0.2
	y	2.3 ± 0.2
S 2	pi	3.6 ± 0.2
	bn	1.3 ± 0.1
	y	1.8 ± 0.3
S 3	pi	3.0 ± 0.2
	y	3.5 ± 0.2

pi=pirita; bn=blenda; y=yeso

Cuadro 4: Valores ^{34}S de los minerales en Mina Sentazón (S).

tos y otro alrededor de 15 o/oo que indicaría procesos metamórficos, diagenéticos y posibles reacciones de intercambio isotópico con aguas meteóricas.

ISOTOPOS DEL AZUFRE. RESULTADOS Y DISCUSION

En los cuadros III, IV y V se presentan los valores ^{34}S de cada una de las fracciones de las muestras analizadas. Los valores ^{34}S varían en la mina Magnata entre 0,5 y 3,5 o/oo, en la mina Sentazón entre 1,3 y 3,6 o/oo y en el Pique Sur Nivel -78 (escombrera) de Sentazón entre 1,0 y 3,7 o/oo.

Del análisis de los resultados se pueden hacer las siguientes observaciones, que se han representado gráficamente en la figura N° 2. En la misma se acompañan como referencia los intervalos de valores ^{34}S correspondientes a los meteoritos (0 o/oo), al sulfato marino (20 o/oo) y el rango de valores medidos en magmas ácidos ((0 $\pm$ 3)o/oo).

- 1) La mayoría de los valores ^{34}S pertenecen al intervalo [0,3]o/oo.
- 2) Hay poca dispersión de los valores ^{34}S .



Figura 2: Rango de valores ^{34}S de los minerales pirita, blenda y yeso, donde $^{34}\text{S}_{\text{pirita}} > ^{34}\text{S}_{\text{blenda}} > ^{34}\text{S}_{\text{yeso}}$. Referencias comparativas rango de valores ^{34}S de meteoritos, magmas ácidos y sulfato marino.

MUESTRA	MINERAL	$\delta^{34}\text{S}$
S/PS/1	pi	3.7 ± 0.3
	bn	2.0 ± 0.3
S/PS/2	pi	$*3.5 \pm 0.3$
	bn	1.6 ± 0.3
S/PS/3	pi	3.1 ± 0.3
	bn	1.0 ± 0.1
S/PS/4	pi	3.3 ± 0.2
	bn	1.6 ± 0.1
S/PS/5	pi	3.0 ± 0.2
	bn	1.5 ± 0.1
S/PS/6	pi	3.1 ± 0.3
	bn	1.0 ± 0.2

pi=pirita; bn=blenda; y=yeso;
*impura

Cuadro 5: Valores ^{34}S de los minerales en Pique Sur Nivel -78 de Mina Sentazón(S/PS).

3) En los pares pirita-blenda se cumple que $^{34}\text{S}_{\text{pi}} > ^{34}\text{S}_{\text{bn}}$, es decir que la pirita está enriquecida en ^{34}S respecto de la blenda, ($\delta^{34}\text{S}_{\text{pi-bn}} > 0$). Este es el orden esperado en condiciones de equilibrio isotópico (Fig.N° 2) (Bachinsky, 1969).

4) Los valores ^{34}S de los yesos son similares a los ^{34}S de la pirita y blenda (Fig.N° 2).

CONCLUSIONES

Sobre la base de los datos analíticos se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- a) Los valores ^{34}S cercanos a (0 $\pm$ 3)o/oo y su poca dispersión reflejan la homogeneización isotópica debida a las altas temperaturas durante la formación de estos depósitos minerales

y su derivación de fluidos magmáticos. Es decir, que los valores obtenidos indican el origen magmático hidrotermal (epigenético).

Aunque no se ha medido ningún valor ^{34}S para la dacita, el rango de ^{34}S de los sulfuros medidos es compatible con el azufre derivado de magmas ácidos (Rye y Ohmoto, 1979).

b) Los valores ^{34}S de los yesos semejantes a los ^{34}S de la pirita y de la blenda indican su génesis supergénica a partir de esos sulfuros (Fig. N° 2) (Field, 1966).

Por el momento la aplicación de un geotermómetro isotópico a partir de los datos obtenidos, no es aconsejable pues no es posible confirmar la existencia de una condición de equilibrio entre los pares minerales coexistentes. Esto se debe en parte a que se ha comprobado por medio de difracción de rayos-X la falta de homogeneidad de algunas de las fracciones de pirita. La no disponibilidad de más muestras para calcular los ^{34}S , así como ensayar otros pares isotópicos (pirita-galena, blenda-galena) también restringen la posibilidad de constatar el mencionado equilibrio entre minerales.

c) Los valores ^{13}C de las calizas de la F. San Juan de alrededor de 0 o/oo indican claramente su origen marino. Los valores ^{18}O están reunidos en dos grupos: uno alrededor de 20 o/oo que señala el origen marino primario de los carbonatos y otro alrededor de 15 o/oo que indicaría procesos metamórficos, diagenéticos y posibles reacciones de intercambio isotópico con aguas meteóricas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dra. L. Malvicini, por su aliento para la realización de este trabajo; al Dr. E. Linares, director del INGEIS; al Lic. R. Pelichotti por su colaboración en las tareas de campaña; a la Lic. S. Valencio por los análisis de carbono-13; y oxígeno-18; a la Lic. M. Do Campo por los análisis de RX y al personal del Laboratorio de Isótopos Estables del INGEIS.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANGELELLI, V., 1936. Las minas de oro de Gualilán, provincia de San Juan. Dirección de Minería y Geología. Pub. 113. Buenos Aires.
- ANGELELLI, V., 1950. Recursos Minerales de la República Argentina. I Yacimientos Metalíferos. Instituto Nacional de Investigaciones de las Ciencias Naturales, anexo al Museo Argentino de Ciencias Naturales "B. Rivadavia", Revista, Ciencias Geológicas II. 543pp. Buenos Aires.
- ANGELELLI, V., J.C. FERNANDEZ LIMA, A. HERRERA y L. ARISTARAIN, 1970. Descripción del Mapa Metalogénico de la República Argentina. Minerales Metalíferos. Dirección de Geología y Minería. Anales XV. Buenos Aires.
- ANGELELLI, V., M.K. de BRODTKORB, H.B. NICOLLI e I.B.A. SCHALAMUCK, 1973. Estudio sobre blendas argentinas. Asociación Geológica Argentina Revista XXVIII: 275-291.
- AULT, W. & M.L. JENSEN, 1963. A summary of sulfur isotope standards.

- En: Jensen, M.L. (Ed.) Biogeochemistry of sulfur isotopes. Proceedings of National Science Foundation Symposium (April, 1962): 16-29. Yale, U.S.A.
- BACHINSKY, D.J., 1969. Bond strength and sulfur isotopic fractionation in coexisting sulfides. Economic Geology 64: 56-65.
- CRAIG, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and corrections factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. Geochimica et Cosmochimica Acta 12: 133.
- CRAIG, H., 1961. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science 133: 1833.
- DAPEÑA, C., 1988. Estudio del depósito de sulfuros en calizas de "Gualilán", provincia de San Juan y su interpretación genética. Informe Complementario Beca Formación Superior, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Buenos Aires. Inédito.
- FERNANDEZ LIMA, J.C. y J.C. OLIVERI, 1951. Informe geológico-económico de las minas de Gualilán, Dpto. Ullún, provincia de San Juan. Dirección de Geología y Minería, Carpeta 298. Buenos Aires. Inédito.
- FIELD, C.W., 1966. Sulfur isotopic method for discriminating between sulfates of hypogene and supergene origin. Economic Geology 61: 1428-1435.
- GONFIANTINI, R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. Nature 271: 534.
- KITTL, E., 1931-32. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición genética. Revista Minera III: 97-124; 129-154; 161-191; 193-222 y IV: 1-30. Buenos Aires.
- LEVERATTO, M.A., 1973. La eruptividad subvolcánica terciaria en la Precordillera de San Juan, entre el Río Jáchal y el Arroyo de las Cabeceras, provincia de San Juan. Caracterización petrológica y vinculación con la estructura. Tesis Doctoral, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Inédito.
- OLIVERI, J.C., 1971. Mapa y ciclos metalogénicos en la provincia de San Juan. Primer Simposio Nacional de Geología Económica. Actas II: 435-448. San Juan.
- PANARELLO, H.O., C.M. GARCIA, S.A. VALENCIO y E. LINARES, 1980. Determinación de la composición isotópica del carbono en carbonatos, su utilización en Hidrogeología y Geología. Asociación Geológica Argentina Revista XXXV: 460-466.
- PANARELLO, H.O. y C. DAPEÑA, 1986. Isótopos del Azufre. Su determinación en materiales naturales y aplicaciones a la Geología. Asociación Geológica Argentina Revista XLI: 210-215.
- PELICHOTTI, R., 1976. Estudio y proyecto de exploración del distrito minero Hualilán. Subsecretaría de Minería, Plan San Juan, Carpeta 53. 66p. Inédito.
- RICKE, W., 1964. Präparation von Schwefeldioxid zur massenspektrometrischen Bestimmung des Schwefel Isotopen Verhältnisses $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ in natürlichen Schwefelverbindungen. Zeitschrift für Analytische Chemie, 199: 401-413. Berlín.
- RYE, R.O. & H. OHMOTO, 1974. Sulfur and Carbon Isotopes and Ore Genesis: A Review. Economic Geology 69 (6): 826-842.
- SAKAI, H., 1968. Isotopic properties of sulfur compounds in hydrothermal processes. Geochemical Journal 2: 29-49. Japan.
- SIMON, W. y A. CARDINALI, 1990. Mapa mineralogénico de la Provincia de San Juan. XI Congreso Geológico Argentino (17 al 21 septiembre 1990, San Juan). Relatorio: 266-289. San Juan.
- STOLL, W. C., 1975. Posible origen singenético de algunos yacimientos de oro-pirita y de oro-cuarzo en Argentina. II Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas III: 75. Buenos Aires.
- THODE, H.G., J. MONSTER & H.B. DUNFORD, 1961. Sulphur isotope geochemistry. Geochimica et Cosmochimica Acta 25: 159-174.