

05.68.08

ENRIQUE LINARES

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	NO 1968

GEOLOGIA ISOTOPICA DEL AZUFRE DEL YACIMIENTO AGUILAR

PROVINCIA DE JUJUY

De TERCERAS JORNADAS GEOLÓGICAS ARGENTINAS, tomo II, páginas 191-198

BUENOS AIRES

IMPRENTA Y CASA EDITORA «CONI»
684, CALLE PERÚ, 684

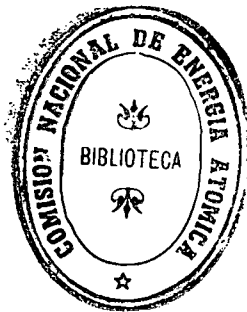
1968

ENRIQUE LINARES

GEOLOGIA ISOTOPICA DEL AZUFRE DEL YACIMIENTO AGUILAR

PROVINCIA DE JUJUY

De TERCERAS JORNADAS GEOLÓGICAS ARGENTINAS, tomo II, páginas 191-198



BUENOS AIRES

IMPRESA Y CASA EDITORA «CONI»
684, CALLE PERÚ, 684

1968

GEOLOGIA ISOTOPICA DEL AZUFRE DEL YACIMIENTO AGUILAR, PROVINCIA DE JUJUY

POR ENRIQUE LINARES¹

RESUMEN

Se dan a conocer los datos obtenidos por medio de la geología isotópica del azufre, sobre los minerales del yacimiento Aguilar, provincia de Jujuy.

El valor de la relación S^{34}/S^{32} expresada en forma de $\delta S^{34}\text{‰}$ de 50 muestras provenientes de diferentes niveles del yacimiento, muestran variaciones muy pequeñas, con un 85 % de los resultados en un pequeño rango que oscila entre 12.5 y 20.0 ‰ y un valor medio para el yacimiento de 18.3 ‰.

Estos valores indican que el origen del yacimiento Aguilar no puede relacionarse con procesos magmáticos hidrotermales o pirometasomáticos como se suponía para el mismo, dado que en estos casos el valor de δS^{34} es cercano al cero por mil. Por comparación con datos recientes hallados en yacimientos similares de otros lugares, se postula un origen en procesos acaecidos en la corteza terrestre, ya sea por "granitización" o fusión de parte del material cortical rico en azufre.

INTRODUCCION

El yacimiento plumbo-zincífero Aguilar, de la provincia de Jujuy, es uno de los depósitos metalíferos más importantes de nuestro país. Debido a ello, diversos autores han efectuado investigaciones geológicas sobre el mismo, por lo que existe una abundante literatura sobre este depósito.

Por lo expresado, en el presente trabajo no se indicará su ubicación geológica ni sus características, ya que esta información puede hallarse en la bibliografía existente. Sólo se considerarán las diversas hipótesis sobre el origen de este depósito y los resultados de los recientes estudios efectuados por el autor, sobre la composición isotópica del azufre de los sulfuros de Aguilar.

La determinación de los valores de la relación S^{34}/S^{32} del azufre contenido en los sulfuros del yacimiento, fue efectuada en el laboratorio de Geología Económica de la Universidad de Yale (EE. UU. de Norte América); bajo la dirección del Dr. M. L. Jensen.

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica.

Agradecimientos. El autor agradece al Dr. M. L. Jensen la posibilidad de ejecutar el presente trabajo, aclarando que el mismo forma parte de uno mayor en colaboración con el citado investigador y en preparación al presente.

METODO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Las muestras de Aguilar, fueron coleccionadas por F. B. Whiting (Jefe de geólogos de Aguilar) en 1958, de varios niveles y diferentes cuerpos mineralizados del yacimiento.

En ningún caso se utilizaron muestras superficiales para evitar posibles modificaciones del valor de δS^{34} debido a alteraciones. Las mismas fueron purificadas y en los casos posibles las partes ricas en galena se separaron de las ricas en blenda. Las primeras por lo general son muy puras, mientras que las segundas muestran delgadas películas de pirrotina a lo largo de sus planos de clivaje.

Las muestras purificadas, fueron convertidas en SO_2 calentándolas a 1.150-1.200° C en una corriente de oxígeno, en la forma descrita por Jensen (1959). El gas obtenido es purificado en un sistema de alto vacío, donde se elimina el agua, exceso de oxígeno y nitrógeno, y la presencia de CO_2 . En todos los casos la recuperación de gas se mide utilizando un manómetro calibrado, con una precisión de $\pm 5\%$. Las muestras cuya recuperación, con respecto al valor teórico, es menor del 85-90 %, se repiten para evitar posibles impurificaciones debidas a la presencia de otros gases, o a una combustión imperfecta.

En todos los casos, cada muestra fue analizada por duplicado y a su vez la determinación por espectrometría de masa de la relación S^{34}/S^{32} también se realizó por duplicado. En el caso de los valores de δS^{34} hallados para cada muestra discreparan en más del 2 ‰, se efectuó un tercer análisis para rectificar o certificar los datos hallados.

El SO_2 se analiza con un espectrómetro de masa de gases, provisto de colector dual, lo que permite comparar la muestra en estudio con otra utilizada como standard de trabajo y de la que se conoce el valor de la relación S^{34}/S^{32} con respecto al azufre del meteorito de Cañadón Diablo, Arizona. Con las precauciones señaladas, la precisión de las mediciones es del orden de $\pm 0.5\text{‰}$ en el valor de δS^{34} , o mejor. Para obtener dicha precisión, una muestra convencional se analizó repetidas veces durante el curso de la investigación con el fin de certificar no sólo el proceso de extracción de SO_2 , sino también la precisión de las mediciones de espectrometría de masa.

Los resultados hallados (ver tabla 1) se comparan con los obtenidos sobre las mismas muestras por Jensen en 1958, con SO_2 extraído en forma algo diferente de la utilizada en la actualidad. La diferencia en la preparación

TABLA 1

δS^{34} ‰ de los sulfuros de la mina Aguilar

Muestras N°	Cuerpo	Nivel	Mineral	SO ₂ Recupe- ración %	Linares (064)			Jensen 1958 δS^{34} ‰	
					δS^{34} ‰	δS^{34} ‰	Promedio δS^{34}		
2.1	A	2	Blenda	100	16,3	16,2	16,2	15,5	
2.2	B	2	Galena	98	18,4	18,1	18,3	18,3	
2.3	B	2	»	90	17,0	17,6	17,3	16,5	
2.4	A	2	»	97	17,0	17,8	17,4	16,7	
3.1	A	3	Blenda	91	18,5	17,7	18,1	18,3	
3.2	A	3	Galena	97	18,3	18,7	18,5	18,3	
3.3	A	3	»		16,2	14,5	15,4	15,3	
3.5	A	3	»		22,2	23,6	22,9	20,0	
3.6	A	3	»	99	17,7	17,8	17,8	19,0	
4.1	B	4	Galena	99	10,4	10,2	10,3	8,5	
4.3	A	4	»	95	17,2	15,7	16,5	15,5	
4.4	A	4	»	100	14,5	14,8	14,7	14,1	
4.6	B	4	»	88	15,7	15,7	15,7	15,5	
4.7	A	4	»		20,4	20,4	20,4	20,0	
5.1	B	5	Galena		19,4	19,6	19,5	16,9	
5.2	B	5	»		14,8	14,5	14,7	14,6	
5.3	B	5	»	88	19,0	18,8	18,9	16,0	
5.4	B	5	»		23,2	23,4	23,3	22,3	
6.2	A	6	Galena		17,8	17,5	17,7	16,0	
6.3	A	6	Blenda		19,8	19,1	19,5	18,7	
6.4	A	6	Galena		17,5	17,5	17,5	17,4	
6.5	B	6	»	97	15,2	14,5	14,9	14,6	
6.6	C	6	»	97	22,0	21,5	21,8	21,5	
6.8	B	6	»					18,3	
6.9	B	6	»		22,2	21,4	21,8	21,0	
6.10	A	6	»	100	25,0	24,8	24,9	24,4	
6.11	A	6	»	97	18,3	18,1	18,2	17,4	
6.12	C	6	»	97	19,0	18,7	18,9		
6.13	B	6	»		19,3	20,2	19,7	17,6	
6.14	B	6	»		16,2	16,2	16,2	14,4	
6.15	A	6	»		26,8	26,7	26,8	28,9	
6.16	A	6	»		22,4	22,4	22,4	21,8	
6.17	C	6	»		20,2	18,9	19,6	17,6	
7.1	C	7	Galena		20,3	20,2	20,3	18,8	
7.3	C	7	»		21,9	21,8	21,8	20,0	
8.2	C	8	Galena		20,3	20,2	20,3	18,8	
8.3	B2-B3	8	»		20,1	20,7	20,4	19,7	
8.4	B2-B3	8	»		26,0	25,9	26,0	22,6	
8.5	B	8	»		12,5	12,5	12,5		
10.1	C	10	Galena		25,5	25,8	25,6	24,2	
Promedio del yacimiento . . .								19,0	18,3

de la muestra explica las pequeñas divergencias halladas entre ambas series de resultados, los que por otra parte presentan una divergencia máxima de 3,4 ‰. Esto además de confirmar la bondad del método utilizado, permite demostrar la alta precisión de los resultados.

Todos los resultados se expresan en $\delta S^{34} \text{ ‰}$ donde,

$$\delta S^{34} \text{ ‰} = \left[\frac{(S^{34}/S^{32})_x - (S^{34}/S^{32})_{st}}{(S^{34}/S^{32})_{st}} \right] 1.000$$

siendo:

$(S^{34}/S^{32})_x$: valor de la relación S^{34}/S^{32} en la muestra en estudio y $(S^{34}/S^{32})_{st}$: valor de dicha relación en el standard.

En la tabla 1 se dan los resultados obtenidos y en la figura 1 se comparan los mismos con los conocidos para otros yacimientos.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

a) *Investigaciones anteriores*

Si bien el yacimiento Aguilar se conoce desde la época de los incas, recién en 1943 en la literatura local, Sgrosso efectúa un estudio del mismo y esboza un probable origen para este depósito. Según dicho autor la formación del mismo se debe a fenómenos de metamorfismo de contacto motivados por soluciones mineralizadas, a gran presión y altas temperaturas, que procedieron del granito de Aguilar y que actuaron sobre las calizas cambro-ordovícicas. La edad del granito de Aguilar según Groeber, 1938, es permotriásica y las características citadas indican un yacimiento del tipo pirometamórfico (Angelelli, 1950).

Spencer, 1950, en un detallado trabajo sobre la geología del yacimiento y zonas cercanas, supone un origen hipotermal con reemplazo de Pb, Zn y Ag en las cuarcitas calcáreas cámbricas. La mineralización la relaciona con la intrusión del granito de Aguilar, al cual considera de edad terciaria superior.

Ahlfeld, 1955, opina que el yacimiento es de contacto neumatólico, formado en el contacto (aureola) de un stock granítico de probable edad neopaleozoica, con calizas impuras, arcosas ricas en carbonato cálcico y cuarcitas de cemento calcáreo.

Brown, 1962, en una detallada investigación sobre los isótopos del plomo en yacimientos plumbíferos de todo el mundo, señala que la mineralización es más antigua que el granito de Aguilar y que en vez de haber sido generada por éste, ha sido metamorfizada por la intrusión granítica. Se basa para ello, en el hecho de que el estudio de los diferentes isótopos del plomo de Aguilar dan relaciones Pb^{206}/Pb^{207} , Pb^{208}/Pb^{206} , Pb^{208}/Pb^{207} , $Pb^{208}/Pb^{206} + Pb^{207}$, y una abundancia del isótopo Pb^{204} típicas de plomos correspondien-

tes al Paleozoico inferior, y en el hecho, no certificado aún, de una edad terciaria del granito. De confirmarse la edad asignada por este a la intrusión granítica, o la supuesta permotriásica de Groeber, quedaría en ambos casos demostrado la falta de relación entre la mineralización y el granito de Aguilar.

En cambio, de acuerdo a los últimos estudios de Turner, 1963, las intrusiones graníticas corresponderían a una edad silúrica. En este último caso, la edad de la intrusión del granito de Aguilar correspondería con el tipo de isótopos de plomo (Brown) paleozoicos, y existiría entonces una estrecha relación entre la mineralización y la intrusión mencionada.

De esto se desprende que para confirmar los datos de Aguilar con respecto a la composición isotópica del plomo, es necesario datar con exactitud el granito de Aguilar.

b) Resultados de geología isotópica

Los valores de δS^{34} obtenidos en el curso de la presente investigación, oscilan entre 10.3 y 27.9 ‰, pero la distribución de las muestras para diferentes rangos de δS^{34} (ver Tabla 2) muestra que el 85 % de ellas se encuentra entre 12.5 y 22.5 ‰, con un valor medio para el yacimiento de 18.3 ‰.

TABLA 2
Distribución de las muestras para diferentes rangos de δS^{34}

rango	δS^{34} ‰	Número de muestras	%
8,5	a 10,0	1	2,5
10,1	a 12,5	1	2,5
12,6	a 15,0	4	10,0
15,1	a 17,5	11	27,5
17,6	a 20,0	15	37,5
20,1	a 22,5	4	10,0
22,6	a 25,0	3	7,5
25,1	a 27,9	1	2,5
Totales		40	100,0

Estos valores no corresponden con los obtenidos en otras investigaciones para yacimientos magmáticos hidrotermales estudiados por medio de los isótopos del azufre. En este caso, el rango de variación del valor de δS^{34} es pequeño, pero además cercano al cero por mil (Linares, 1966).

Estudios recientes de Smitheringale et al., 1963, Shima et al., 1963, y Gross et al., 1965, muestran que los filones básicos de diferentes lugares y edades geológicas diversas, y también algunos intrusivos ácidos, tienen valores de

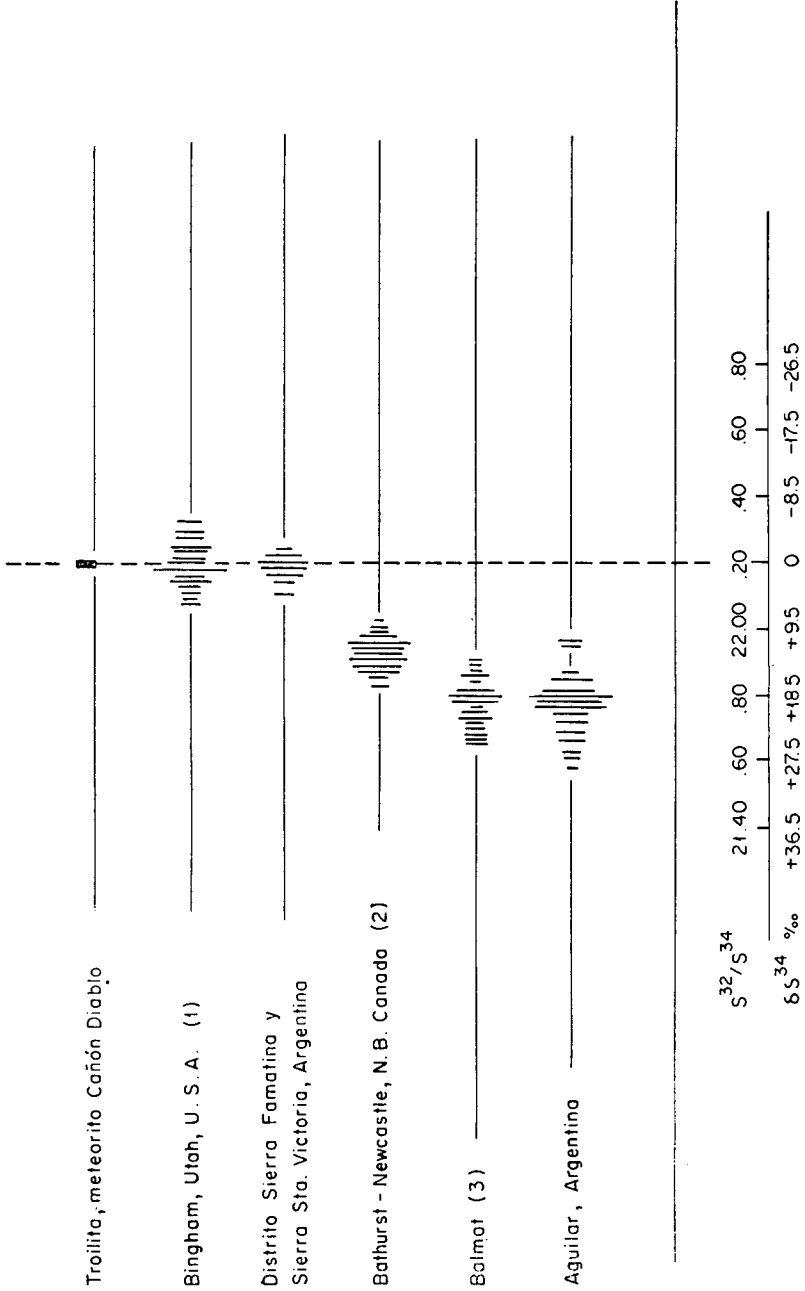


Fig. 1. — Composición isotópica de Aguilares en comparación con otros depósitos.

δS^{34} cercanos al cero por mil, o sea el valor del azufre de los meteoritos. Esto indicaría que este azufre fue derivado del manto superior, para el cual, según el último autor nombrado, su composición isotópica no ha variado con el tiempo.

Jensen et al., 1963, estableció que todos los yacimientos de sulfuros hidrotermales del oeste de los EE. UU. de Norte América poseen un rango pequeño de δS^{34} , menor en todos los casos al 10 ‰ y que además es cercano al de los meteoritos. Para estos yacimientos sugiere un origen en el manto superior. Es el caso de los yacimientos Bingham, Utah, y de la Sierra de Famatina, La Rioja y La Esperanza, Salta, que se indican en la figura 1. Las mismas consideraciones se aplican a aquellos depósitos formados a altas temperaturas y presiones, como son los pirometasomáticos.

En contraste con lo expresado precedentemente, los yacimientos del área Bathurst-New Castle, N. Britain, Canadá, Balmat, Australia, y otros, poseen valores de δS^{34} con un rango de variación pequeño, pero con un notable enriquecimiento en S^{34} . En general el valor de δS^{34} se acerca al del azufre de los sulfatos de agua de mar (20.0 ‰). Gross et al. (*op. cit.*) han encontrado valores de δS^{34} para intrusivas ácidas relacionadas con yacimientos de oro del Canadá, desde 6.9 a 30.2 ‰, por lo cual dicho autor sugiere que estos granitos han obtenido su azufre en rocas de la corteza, donde el mismo debe haber sido fraccionado por procesos exógenos. Según Jensen (*com. verb.*), fenómenos de granitización o de fusión de parte de la corteza conteniendo evaporitas ricas en sulfatos o azufre de origen biogénico, son las causas posibles de esta anomalía y de allí que el azufre esté enriquecido en S^{34} .

Para el caso del yacimiento Aguilar, si su origen fuera hipotermal como sugiere Spencer, 1950, o pirometasomático según Sgrosso, 1943, o Ahfeld, 1955, debería cumplirse que el valor de δS^{34} fuera cercano al cero por mil. En cambio, se obtiene un valor medio de 18.3 ‰, indicativo de un enriquecimiento en S^{34} que es similar a lo que sucede para aquellos yacimientos que según Gross y Jensen se han originado debido a procesos acaecidos en la corteza terrestre y no en fenómenos magmáticos.

LITERATURA CITADA EN EL TEXTO

1. AHLFELD, F. 1955. Geologie der Blei-Zinkerzlagerstätte Aguilar (Argentinien). Zeitsif. Erzab. u. Metallh. B. VII, Hefl. 12, Stuttgart.
2. ANGELELLI, V. 1950. Recursos minerales de la República Argentina. I Yacimientos Metalíferos. Rev. Mus. Arg. Cs. Nat. B. Rivadavia, Buenos Aires.
3. BROWN, J. S. 1962. Ore leads and Isotopes. Ec. Geol., 57, 5, págs. 673-720.
4. GROEBER, P. 1938. Mineralogía y Geología. Buenos Aires.
5. GROSS, W. H. y THODE, H. G. 1965. Ore and the sources of acid intrusives using sulfur isotopes. Ec. Geol., 60, págs. 576-590.

6. JENSEN, M. L. 1959. Sulfur isotopes and hydrothermal mineral deposits. *Ec. Geol.*, 54, págs. 374-396.
7. — 1963. Biogenic sulfur and sulfide deposits. *Proceedings N.S.F. Symp. Yale Univ.*
8. JENSEN, M. L. y DECHOW, E. 1962. The bearing of sulfur isotopes on the origin of the Rhodesian copper deposits. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, V, LXV.
9. LINARES, E. 1966. Isótopos del azufre y su utilización en la génesis de algunos yacimientos metalíferos. III Jorn. Geológicas.
10. — 1966. Geología Isotópica del yacimiento Huemul, provincia de Mendoza. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* (en prensa).
11. SCROSSO, P. 1943. Contribución al conocimiento de la minería y geología del noroeste argentino. *Din. Min. y Geol. Bol.* 53, Bs. Aires.
12. SMITHERINGALE, W. G. y JENSEN, M. L. 1963. Sulfur isotopic composition of the Triassic igneous rocks of eastern United States. *Geoch. et Cosm. Acta*, 1183-1202.
13. SHIMA, M. et al. 1963. Sulfur isotope abundance in basic sills, differentiated granites and meteorites. *Journ. Geophys. Res.*, 68, págs. 2835-2847.
14. SPENCER, F. H. JR. 1950. The geology of the Aguilar lead-zinc mine, Argentina. *Ec. Geol.*, 45, págs. 405-433.
15. TURNER, J. C. M. 1963. Perfil transversal de la Puna, latitud 22° 15' S aproximadamente. II Jorn. Geol. Arg. (Salta).

Buenos Aires, Noviembre de 1966.

