

LA FOSGENITA PRIMARIA DEL SALAR DEL PLOMO

Por V. ANGELELLI y J. VALVANO

Hace ya algún tiempo se entregó al Museo de la Dirección General de Minas y Geología de la Nación, una muestra de un mineral pesado, de textura fibrosa y coloración pardo-claro a oscuro, procedente del ex-territorio de Los Andes.

Por aquel entonces uno de nosotros debía estudiar el depósito del mineral que nos ocupa, clasificado erróneamente como cerusita, con el objeto de asesorar al interesado sobre el valor comercial de la propiedad minera, pero la falta de tiempo impidió llevar a cabo esa investigación, con lo cual dicha muestra y todo ulterior estudio permaneció en el olvido. Empero, las observaciones megascópicas nos hicieron sospechar, desde un principio, por la manera de presentarse el mineral y por la naturaleza de su roca de caja, que el mismo fuese un compuesto de origen primario, muy interesante desde el punto de vista mineralógico, por cuanto creíamos, sin otras indagaciones, que se trataba del carbonato de plomo, es decir cerusita.

En un reciente viaje a la Puna catamarqueña, investigando los salares más australes del antiguo territorio de Los Andes, se presentó la oportunidad de visitar, de paso, el depósito del mineral de plomo en cuestión; se recogieron así diversas muestras del mismo y se efectuaron algunas observaciones referentes a su posición geológica. Pero, al tratar de corroborar por vía microscópica las propiedades de la supuesta cerusita, comprobamos que ellas no correspondían a las de este carbonato sino más bien a las de la fosgenita. Los ensayos químicos preliminares atestiguaron la presencia del catión plomo y de los aniones cloruro y carbonato.

Brackebusch (*Las especies minerales*, 1879, p. 207-208) fué el primer investigador que estableció la presencia de fosgenita en el país. La halló en las minas « Venus » y « Aguadita », dpto. Minas, prov. de Córdoba, asociada a dezcloisita, vanadinita y otros minerales de la zona de oxidación de esos yacimientos plumbíferos.

El depósito. — El depósito de este mineral de plomo se encuentra situado entre los salares de la Mina y de Antofalla, en una pequeña depresión denominada Salar del Plomo — que no figura en ningún plano topográfico de la región — a una altura comprendida entre 3.660 y 3.700 m s. n. m., en el dpto. Antofagasta de la Sierra, prov. de Catamarca.

La senda de herradura que une la quebrada de la Mina con el extremo sur del Salar de Antofalla, pasa a pocos metros del depósito de fosgenita, el cual dista unos 6 km al sudoeste de la mencionada quebrada.

Hay dos rutas para llegar a la quebrada de la mina: una, a partir de la población de Antofagasta de la Sierra, hasta donde se puede ir en automotor desde San Antonio de los Cobres (300 km) y la otra, por las vegas de Las Peladas, sobre el camino internacional a Chile por el paso de San Francisco, que dista 185 km al noroeste de Tinogasta. De ambos puntos se alcanza la quebrada aludida, por camino de herradura; en dos jornadas desde Antofagasta de la Sierra y en tres y media desde las vegas de Las Peladas. Esta última ruta fué la seguida por nosotros (fig. 1).

Los elementos geológicos partícipes de la región comprendida entre el Salar de la Mina y el del Plomo están representados por rocas neovolcánicas y sus tobas. En la zona del salar de la Mina obsérvanse pizarras verdosas, de edad posiblemente precámbrica, similares a las existentes en los alrededores de San Antonio de los Cobres y en otros parajes del ex-territorio de Los Andes. Su rumbo general es aproximadamente N-S y su posición subvertical. En el Morro de dicho salar se nota, dentro de las pizarras, una penetración diorítica y algunos filones de naturaleza aplítica.

Los terrenos que forman los contornos del Salar del Plomo, de dimensiones reducidas frente a otras depresiones de la Puna, son sedimentos rojos constituídos por areniscas y arcillas preterciarias. Cubriendo a los mismos se observan, en las elevaciones que circundan al salar, coladas de basalto. Al oeste y cercano a su borde occidental existen masas de una roca clara (liparita?) y sus tobas.

En la fracción oriental de esta pequeña cuenca, de forma irregular y de una extensión de 2 a 3 km por 1 a 2 de ancho, con manchas de costas salinas en su parte más baja, se destaca, por su coloración amarillenta, una elevación alargada y baja, de dirección NNW-SSE, como si emergiera del piso rojizo del salar. Dicha elevación está constituida por calcáreo travertínico, cuyas capas, en las proximidades de la base, tienen una posición horizontal, no así en su parte alta donde toman inclinación tanto al este como al oeste, al norte y al sur, a la manera de un braquianticlinal; posee un recorrido de unos 400 m, un ancho de 60 a 70 m y una altura máxima de 40 m. En su extremo norte se observa un pequeño morro de la misma naturaleza y varios otros, pero aislados, en su extremo sur.

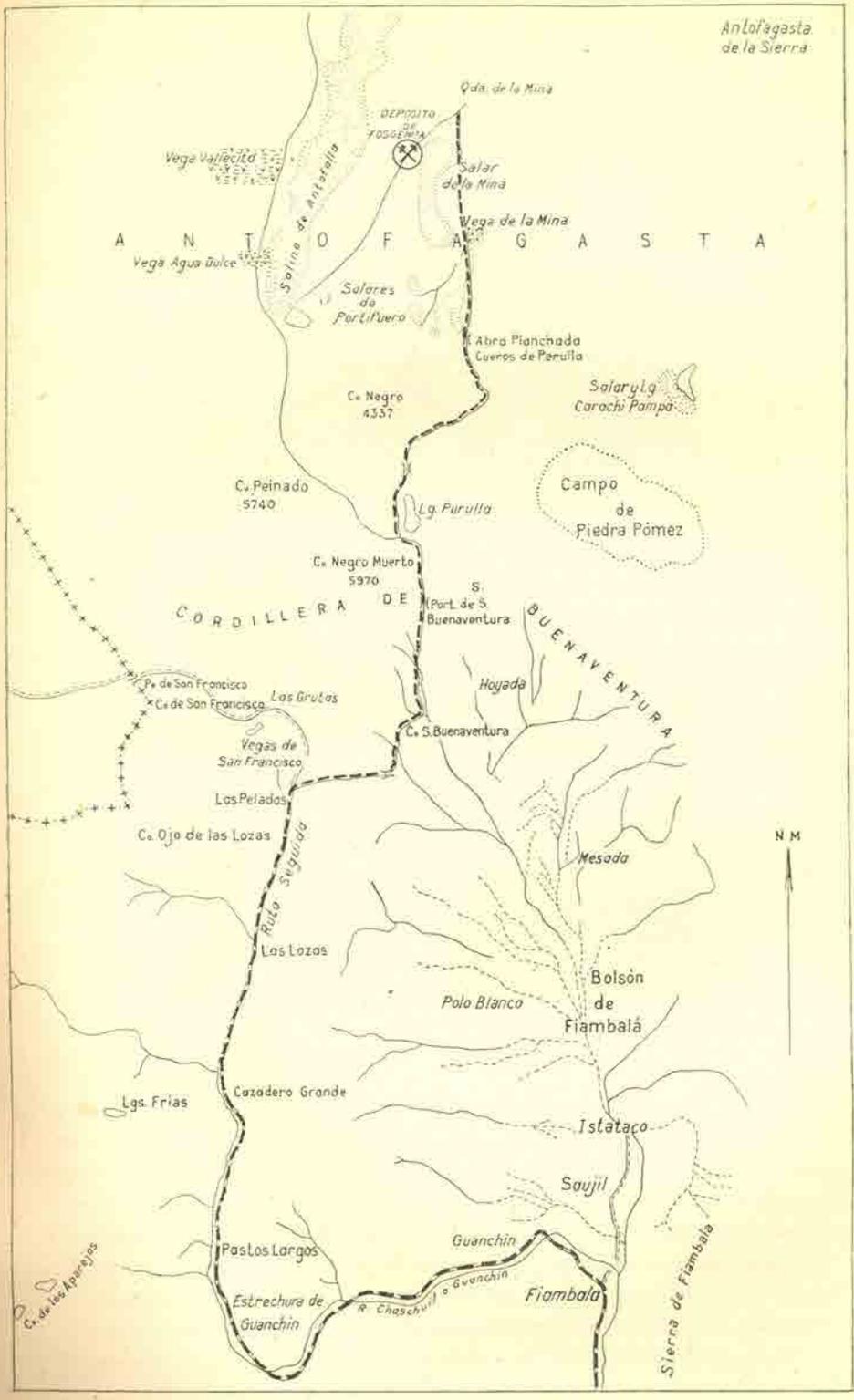


Figura 1

El material travertínico es bastante poroso y en ciertos sitios se presenta fracturado. Su color varía del amarillo ligeramente verdoso al pardo, con tonalidades claras y oscuras. Particularmente, es en la fracción oriental de la elevación principal, donde más se nota la coloración oscura, asociada con amarillo y verde. Dicho calcáreo contiene a menudo en su masa, xenolitos de areniscas y arcillas que proceden de los sedimentos rojos citados.

En distintos lugares del cuerpo principal de travertina es dable obser-

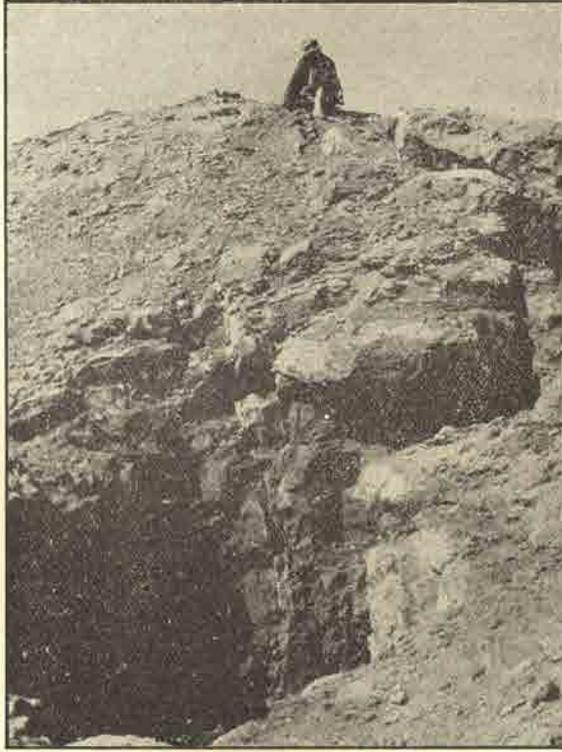


Fig. 2. — Vista de la labor principal

var impregnaciones de malaquita, abarcando áreas reducidas; este carbonato está presente en las oquedades de la roca, pero nunca acompaña las guías de fosgenita. Tapizando los espacios vacíos de la travertina encontramos calcita. Existe aragonita en guías concordantes con la pseudoestratificación de la travertina y en otras que la transectan. En un sitio notamos un cuerpo lenticular de aragonita con su típica textura fibrosa, de una potencia de 30 cm, y en uno de los montículos del extremo sur, guías del mismo carbonato con un suave tinte azulado.

El depósito de fosgenita lo constituye una guía principal con ramifi-

caciones, de 40 m de largo, situada casi en el mismo eje de la elevación mayor y diversas otras manifestaciones menores (fig. 2).

Esta guía posee un rumbo N 30°W e inclinación casi de 90°; atraviesa capas del calcáreo de posición sensiblemente horizontal, entre las que se presentan guías de calcita. El ancho máximo mineralizado alcanza a sólo 10 cm, comprendiendo dos guías casi paralelas; en su cercanía inmediata existe una de aragonita (fig. 3). Por lo general las guías de fosgenita tienen un espesor que varía de pocos milímetros a 1, 2 y 3 cm y, a veces, más. En efecto, en una labor situada al poniente de la guía principal se encontró fosgenita oscura en una masa lenticular cuya potencia máxima era de 10 cm. Conforme a las observaciones practicadas, podemos decir que las grietas, en las cuales se depositó la fosgenita y su ganga, han sido muy irregulares y hasta caprichosas en cuanto a su forma.

El mineral. — El mineral se presenta en agregados de cristales aciculares dispuestos perpendicularmente a la roca de caja. La textura del relleno es simétrica y también asimétrica. Unas veces la fosgenita, que ocupa la parte central, se encuentra separada de la travertina por capitas de calcita o ferrocacita; otras, este clorocarbonato limita directamente con la roca de caja por un lado, mientras que por el otro lo hace con calcita. Existen también sitios donde el relleno de la guía de fosgenita está constituido por capas de este mineral que alternan con las de calcita.

Megascópicamente distinguimos dos variedades de fosgenita: una clara o «blanca» y otra oscura o «negra». En ningún sitio observamos cristales aislados, pero sí agregados de individuos aciculares de hasta 6 a 8 mm de largo por 0.5 a 1 mm de ancho, en la fosgenita clara. La variedad oscura forma una masa compacta donde los cristales no son individualizables a simple vista.

En los afloramientos, la fosgenita clara toma un color pardo rojizo oscuro, debido a una película sumamente delgada de óxidos de hierro,

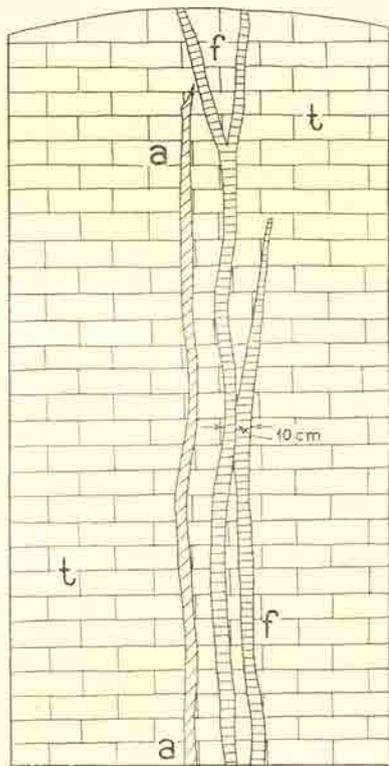


Fig. 3. — Frente sur de la labor principal:
a, guía de aragonita; f, guía de fosgenita;
t, travertina

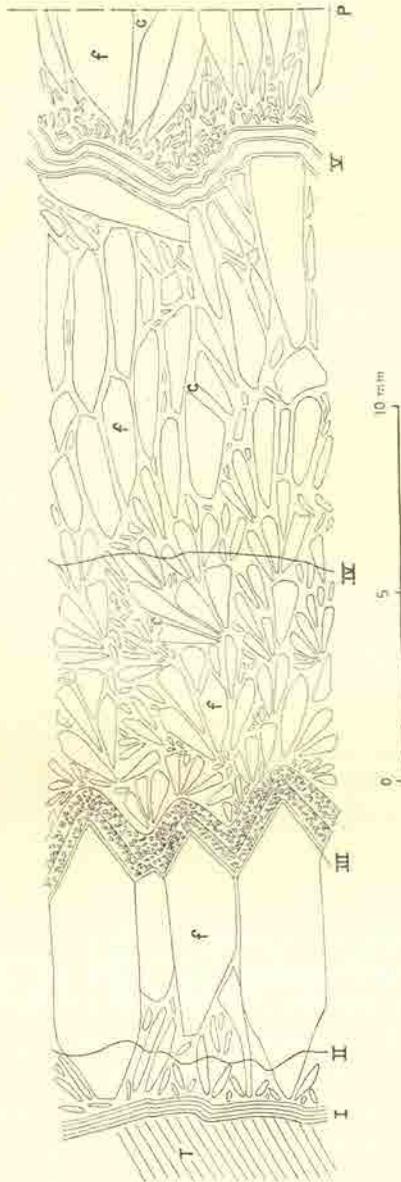


Fig. 4. — Corte normal a una guba de fosguita con rollo de simetría: T, travertina; L, fosguita; c, calca o ferrocalcita.
P, plano de simetría

desarrollada por meteorización, que cubre selectivamente sus cristales.

La figura 4 muestra un corte normal a una guía de fosgenita con textura simétrica.

Las observaciones, efectuadas al binocular, nos señalan lo siguiente:

T: travertina; I: bandas de ferrocalcita y calcita que cambian gradualmente de color (rojo, amarillo, blanco); de I a II: cristales blancos, translúcidos, de fosgenita, con calcita rosada como material intersticial; de II a III: cristales de fosgenita incoloros y «pasta» de calcita blanca; III: bandas de ferrocalcita pardo-rojizas a rosadas; de III a IV: cristales de fosgenita rojizos a pardo-negrucos, translúcidos a opacos y «pasta» de ferrocalcita; de IV a V: cristales de fosgenita blancos a incoloros, translúcidos a transparentes y matrix de calcita blanca; V: bandas de ferrocalcita rosada a rojiza, con algunas, finas, de calcita blanca; de V a P: cristales de fosgenita rosados a pardo-negrucos, translúcidos a opacos y «pasta» de ferrocalcita rojiza; P: plano de simetría.

De lo expuesto precedentemente, saltan a la vista varios hechos:

a) Que existe una textura «de peine» («comb structure», Bastin et al. *Criteria of age relations of minerals*, Econ. Geol., XXVI, 1931, p. 579) bien desarrollada, lo que indica un control de pared prominente.

b) Que existe una textura coliforme bien visible en I, III y V; en realidad es metacoloforme, pues calcita y ferrocalcita han cristalizado ahora, dando un agregado fibroso-radiado de fibrillas muy finas, como lo revelan los cortes delgados.

c) Que las soluciones que ascendieron por las grietas y fisuras han ido cambiando de composición, unas veces gradualmente, otras en forma brusca (IV).

Caracteres físicos. Propiedades ópticas. Composición química. — La fosgenita cristaliza en el sistema tetragonal; sus cristales son comúnmente de hábito prismático, a veces tabulares paralelos a (001), más raramente bipiramidales agudos. Presenta clivajes perfectos según (110), (010) y (001). Es algo sétil. $D: 2.75-3$. $P. E.: 6.0-6.9$. Brillo adamantino. Color blanco, gris y amarillo. Raya blanca. Transparente a translúcido. Uniáxico positivo (Dana, 1920, p. 292). Los índices de refracción según Winchell (1933, p. 85) y Larsen y Bergman (1934, p. 134) son los siguientes:

Winchell	Larsen
$N_o: 2.118$	$\epsilon: 2.114$
$N_e: 2.145$	$\omega: 2.140$
$N_e-N_o: 0.027$	$\epsilon-\omega: 0.026$

Se determinó el índice del mineral en cuestión, obteniéndose para luz de Na, $\omega: 2.122$; las investigaciones al respecto no pudieron proseguirse por carencia de Selenio. El índice encontrado, relativamente alto, puede

goniométricas, en razón de no haberse hallado ningún método que permita aislar los cristales de la matrix calcárea. En corte delgado los individuos de fosgenita se presentan, en general, incoloros; pero las variedades intensamente coloreadas (pardo-negruzcas megascópicamente) se muestran con tintes que van del rojo pardo (a veces casi opacas) hasta el amarillo. En las áreas de color más débil es observable un pleocroísmo entre rojo pálido (ϵ) y amarillo (ω).

Los cortes delgados demuestran que tanto la fosgenita como la calcita o ferrocalcita, se han depositado simultáneamente. Existe a veces un control notable de la estructura fibroso-radiada de la calcita por parte de los cristales, más desarrollados e idiomorfos, de la fosgenita, índice de la fuerza de cristalización de esta última. A menudo se nota un reemplazo centrípeto de fosgenita por un agregado fibroso de cerusita, que a veces procede a lo largo de los planos de clivaje. Dicho reemplazo es generalmente parcial y poco extendido, pero ocasionalmente ha llegado a completarse.

Análisis químico. — Las evaluaciones analíticas que señalamos a continuación han sido proporcionadas por el doctor Miguel H. Catalano, quien analizó dos muestras de la variedad clara:

	I	II
Pb.....	66.18 %	67.12 %
CaO.....	7.25	6.48
CO ₂	13.76	13.26
Cl.....	9.64	9.79

Un análisis de la variedad oscura realizado por el doctor E. Wood y L. A. Cerana, de la Dirección General de Minas y Geología de la Nación, demuestra la presencia de óxidos de hierro con los siguientes tenores: 0.36 % FeO y 0.88 % Fe₂O₃.

Si en los análisis I y II se elimina el CaO como CaCO₃ y se calcula el CO₂ como ión carbonato, llevando a 100 %, se obtiene:

	I	II
Pb.....	76.22 %	76.22 %
CO ₂	12.68	12.66
Cl.....	11.12	11.10

de donde se llega a la siguiente composición:

	I	II	Fosgenita (teórico)
PbCl ₂	43.5 %	43.62 %	51 %
PbCO ₂	56.5	56.38	49

La disparidad entre los porcentajes hallados frente a los teóricos, obedece evidentemente a que el mineral analizado contiene carbonato

explicarse por la presencia de pequeñas cantidades de óxidos de hierro que coloreaban ligeramente los trozos observados.

Es un clorocarbonato de plomo : $(\text{PbCl})_2\text{CO}_3$ ó $\text{PbCl}_2 \cdot \text{PbCO}_3$. Composición : PbCl_2 : 51% y PbCO_3 : 49%. Con el soplete funde fácilmente en un glóbulo amarillo que al enfriarse se pone blanco y cristalino. Sobre el carbón, con llama reductora, da plomo metálico, con una aureola blanca de cloruro de plomo. Se disuelve con efervescencia en ácido nítrico diluído (Dana, *loc. cit.*).

Es interesante hacer notar que el mineral se descompone con agua fría, que extrae el cloruro de plomo, como ya lo demostró C. F. Rammsberg (Mellor, J., VII. 1927, p. 853).

Estudio microscópico. — La fosgenita de Catamarca se presenta en cristales aciculares, alargados según uno de sus ejes horizontales. Su



Fig. 5. — f, fosgenita ; c, calcita

diámetro mayor oscila entre fracción de 0.1 mm y 0.7-0.8 cm. Hay cristales perfectamente transparentes, translúcidos y hasta opacos, dominando los translúcidos. En cuanto a coloración van desde incoloro hasta pardo-negruzco (opacos). Se observan a menudo cristales zonales, donde alternan bandas de distinta coloración (blanquecinas y rojizas ; blanquecinas y rosadas, etc.). Estas bandas son, en general, normales a la dirección de alargamiento y por tanto sensiblemente paralelas a las paredes de las fisuras o grietas en que se depositó el mineral. Las aristas se hallan con frecuencia redondeadas ; los cristales son bastantes imperfectos y desproporcionados (fig. 5). Fué imposible intentar determinaciones

de plomo libre, lo que fué confirmado por el estudio microscópico a revelar la presencia de cerusita.

Con el objeto de poder cotejar los resultados obtenidos en nuestra

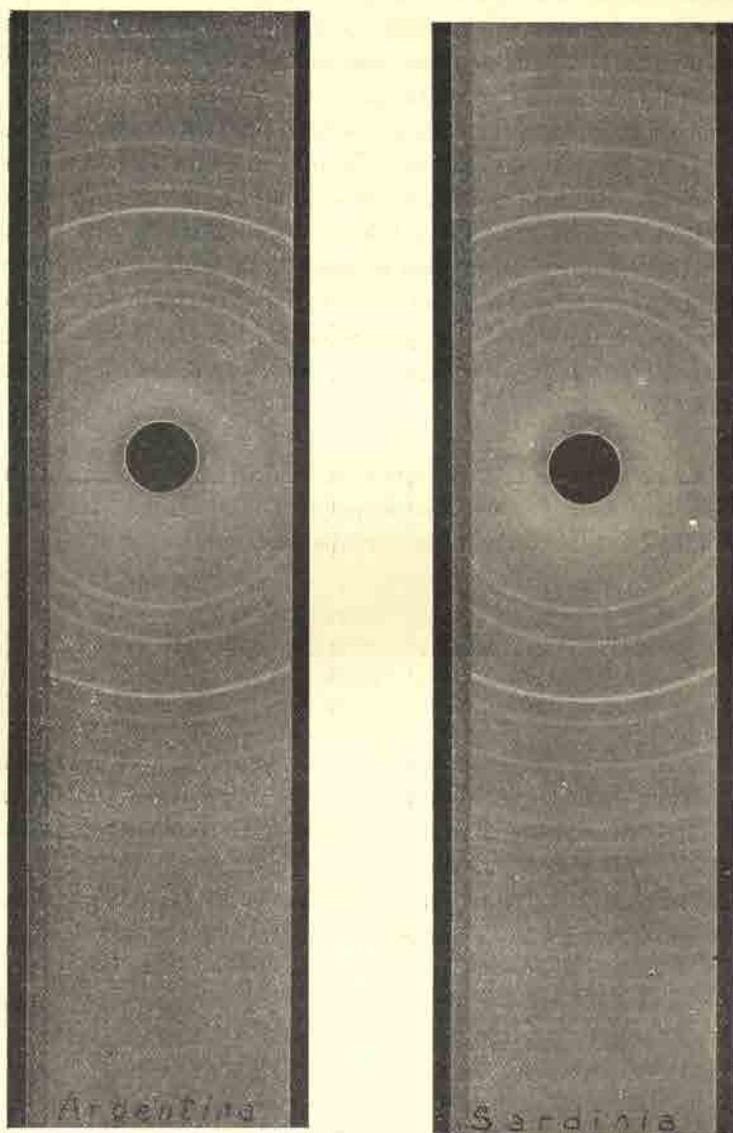


Figura 6

investigaciones, enviamos para su examen, una muestra del mineral doctor Samuel Gordon, Jefe del Departamento de Mineralogía de Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia. Dicho mineralogi

creyó más conveniente, según nos comunicara, el estudio del mineral a los rayos X y a tal efecto lo remitió a Philips Laboratories, Inc. X-Ray Section de Nueva York. La figura 6 nos muestra el diagrama obtenido con el mineral de Catamarca y el correspondiente al de Cerdeña. Y al respecto, como conclusión del certificado de la citada institución, dice William Parrish: «Samples give identical X-ray diffraction patterns». Con lo que queda, pues, determinada en forma concluyente la naturaleza del mineral del salar del Plomo.

Génesis. — Para completar el estudio de la fosgenita puneña, sólo nos resta considerar su génesis. El problema no es sencillo, en virtud de la naturaleza primaria del depósito. Las incógnitas que surgen al pretender dilucidarla, convierten al tema en altamente especulativo. Las evidencias no son de ninguna manera concluyentes.

Pero lo que resulta evidente es que el depósito está estrechamente vinculado con la tectónica subcreciente de la Puna y el intenso vulcanismo que allí se creó.

Comencemos con la roca de caja. Aguas bicarbonatadas cálcicas, al menos en parte de origen meteórico, emergieron, a juzgar por la morfología del depósito, a través de una grieta principal y otras subordinadas. En la superficie, por rotura de su equilibrio físico-químico, precipitaron el material acarreado, dando lugar así a la formación de la travertina. A continuación detallamos un análisis de esta última, practicado por el doctor A. Chaudet sobre una muestra extraída a cierta distancia de la guía principal de fosgenita:

Res. ins. en HCl.....	3.30 %
Oxido de calcio (CaO).....	44.00
Cobre (Cu).....	0.14
Plomo (Pb).....	4.14
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃).....	3.20
Anhidrido carbónico (CO ₂).....	35.54
Cloro (Cl).....	1.98

Acusa además vestigios de cinc, y cantidades dosables de arsénico y sulfatos. El porcentaje relativamente grande de plomo, se debe a la presencia de fosgenita. El contenido en cloro pertenece en gran parte a cloruro de sodio.

Finalizado el periodo de deposición de la travertina y aprovechando los mismos canales de acceso, o quizá grietas originadas por una suave reactivación de la fractura, ascendieron las soluciones que originaron las guías de fosgenita.

Y antes de pasar a considerar la procedencia del plomo y su precipitación como clorocarbonato, creemos conveniente detenernos brevemente en las experiencias realizadas en el laboratorio para la obtención

sintética del mineral. J. W. Döbereiner (Mellor, J. VII, 1927, p. 852) obtuvo la sal hirviendo cloruro de plomo con carbonato de plomo y agua; C. Friedel y E. Sarasin (Mellor, J., *loc. cit.*) trabajaron con la misma mezcla en un tubo cerrado a 180°. A. de Schulten (Mellor, J., *loc. cit.*) hizo pasar una corriente lenta de CO₂ sobre una solución filtrada de cloruro de plomo, obteniendo cristales de fosgenita en 24 horas. Si se sigue el tratamiento, la fosgenita se convierte en cerusita (Mellor, J., *op. cit.*, p. 830).

Tendiente a definir la génesis de la fosgenita presentamos dos hipótesis:

a) Aguas bicarbonatadas cálcicas, análogas a las que dieron origen a la travertina, ascienden por las grietas, pero ahora mezcladas con flúidos fumarólicos que contienen cloruro de plomo. Al romperse el equilibrio físico químico se depositan simultáneamente fosgenita y calcita o ferrocalcita (según las cantidades variables de hierro que son capaces de extraer las aguas, de las rocas que atraviesan).

b) Soluciones teletermales, bicarbonatadas y plumbíferas, encuentran en su ascenso aguas cloruradas meteóricas, lográndose así los componentes que integran el relleno de las grietas.

En ambos casos se crea una corriente de CO₂, que explica el reemplazo centripeto de la fosgenita por cerusita observado en el estudio microscópico.

Este curioso depósito de fosgenita tiene un doble interés mineralógico; primero, por constituir una acumulación apreciable de este raro compuesto y en segundo lugar, por ser innegablemente de origen primario, quizás el único conocido hasta la fecha, ya que en todos los otros casos citados en la literatura, se le encuentra en la zona de oxidación de ciertos yacimientos de galena (Monte Poni y Montevecchio, en Cerdeña; en Tsumeb, Africa; en Cornwall y Cromford, Inglaterra, etc.).

A los investigadores Samuel Gordon y William Parrish, les expresamos nuestro más profundo agradecimiento por la colaboración prestada en la determinación de la fosgenita; el que hacemos extensivo a los químicos doctores Miguel Catalano y Augusto Chaudet, por su contribución con el estudio analítico del clorocarbonato y de la travertina, respectivamente. Llegue también nuestro reconocimiento a la doctora Edelmira Mórtola por facilitarnos el laboratorio de Mineralogía de la Facultad de C. E. F. y N. de la ciudad de Buenos Aires, para la realización de nuestro trabajo de gabinete.

Abstract. — A large phosgenite deposit from the «Puna» (Catamarca) is described, its striking feature being the primary origin of the chlorocarbonate. It is located in a small salty depression (Salar del Plomo) near Salar de Antofalla. Volcanism has been intense in recent geological times; volcanics and

their tuffs are spread all over the area. The deposit forms a low, long hill of calcareous tufa. Along its axis outcrops the main veinlet averaging 3-5 cm wide; its filling is symmetrical and asymmetrical, showing prominent wall-control («comb structure»). Mineralization consists of calcite, ferrocalcite (both metacolloids) and acicular phosgenite crystals of two varieties: «dark» and «light» (dark red brown and white, respectively). Two theories are proposed to account for the genesis of the chlorocarbonate: a) calcium bicarbonate waters, meteoric in part, became mixed with lead chloride bearing fumarolic fluids; b) telethermal solutions carrying calcium bicarbonate and lead, meet on their way up, chlorine meteoric waters.

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BRACKEBUSCH, L., 1879. *Las especies minerales de la República Argentina*. (Manuscrito existente en la Dirección General de Minas y Geología, Buenos Aires).
- BASTIN, et al., 1931. *Criteria of age relations of minerals*, Econ. Geol. XXVI, 6.
- DANA, E., 1920. *The System of Mineralogy of James Dwight Dana. Descriptive Mineralogy*. Sixth Edition, New York.
- LARSEN, E. y BERMAN, H., 1934. *The microscopic determinations of the non-opaque minerals*. U. S. Geol. Surv., Bull. 848.
- MELLOR, J., 1927. *A comprehensive treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry*. VII, London.
- WINCHELL, A., 1933. *Elements of Optical Mineralogy*. Part II, New York.