

## Butlerita ( $\text{Fe OH SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) de la mina Santa Elena, provincia de San Juan, Argentina

Lorenzo Francisco ARISTARAIN

Museo Argentino de Ciencias Naturales «Bernardino Rivadavia», Av. A. Gallardo 470, 1405 Buenos Aires, Argentina.

**Abstract:** Butlerite ( $\text{Fe OH SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) from Santa Elena mine, province of San Juan, Argentina. Idiomorphic crystals of Butlerite from Santa Elena mine, Calingasta, San Juan, Argentina, were used for this study. Butlerite ( $\text{Fe OH SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) has the following characteristics: monoclinic, Prismatic class, space group  $P 2_1/m$ ;  $a = 6.499(1)$ ,  $b = 7.378(1)$ ,  $c = 5.848(1)$  Å,  $\beta = 108^\circ 28'(5)$ ,  $a:b:c = 0.8809:1:0.7926$ , cell volume  $265.98$  Å<sup>3</sup>,  $Z=2$ . The transparent crystals are colorless to pale yellow, the fine aggregates are yellow orange, the streak is pale yellow, the luster is vitreous. The crystals are tabular, measuring up to 1 mm across; the predominant forms are {001}, {100}, {110}, {011}, and {101}. The strongest peaks in the X-ray powder diagram are, in Å: 4.98 (100), 3.165 (52), 3.597 (17), 3.076 (17), 3.234 (14), 2.495 (14), 4.74 (9), 4.43 (9). Butlerite is biaxial (+),  $\alpha = 1.595(1)$ ,  $\beta = 1.666(1)$ ,  $\gamma = 1.743(1)$  Na light,  $2V$   $85^\circ$ ,  $Z = b$ ,  $X_{\lambda c} = -17^\circ$ , pleochroism  $X =$  colorless,  $Y =$  faint yellow,  $Z =$  light yellow, high birefringence, cleavage {100} very good, fragile, hardness 2 1/2, density 2.552 g/cm<sup>3</sup> (meas.), 2.559 g/cm<sup>3</sup> (calc.). Parabutlerite, the orthorhombic dimorph, dipyramidal class ( $2/m 2/m 2/m$ ), spatial group  $Pmnb$ , is associated with butlerite.

**Key words:** Mineralogy, butlerite, sulfate, San Juan, Argentina.

Los especímenes del mineral estudiado fueron recogidos en la mina Santa Elena, ubicada en el extremo norte del valle de Calingasta, en la parte occidental de la Precordillera, a unos 1.400 metros s.n.m., en el departamento de Calingasta, provincia de San Juan, Argentina. La mina se encuentra en el flanco derecho de la quebrada Alcaparrosa, frente al km 128 de la Ruta Nacional N° 20 que une la ciudad de San Juan con Calingasta, a unos 8 km al norte de la última localidad.

Se trata de vetas mesotermales relacionadas con una intrusión subvolcánica riódacítica que corresponde al Pérmico inferior.

Uno de los cuerpos mineralizados, el sector conocido como La Alcaparrosa de la veta 1, se aloja en una fractura de rumbo N  $80^\circ$  O que buza  $60^\circ$  hacia el sur y cuya potencia oscila entre 4,5 y 6,5 metros (Angelelli & Trelles, 1938; Meisse & Maidana, 1983). Según estos autores, la mena está compuesta de piritita, pirrotina, marcasita, arsenopiritita, blenda, calcopiritita, galena, bismuto nativo (?) y sulfosales (?), con contenidos de oro y plata, y la ganga por cuarzo y carbonatos; como minerales supergénicos se mencionan hematita, calcosina, covelina, neodigenita y la variedad de piritita denominada melnikovita.

La zona de oxidación se extiende hasta la profundidad de menos 25 metros aproximadamente y se caracteriza por una intensa alteración de la mineralización primaria y una notable aparición

de numerosos minerales secundarios. Entre estos en la literatura se han mencionado: butlerita, parabutlerita, goslarita, epsomita, yeso, natroalunita, jarosita, copiapita, hexahidrita, kieserita, fibroferrita, halotrichita, szmolnokita, botriógeno, slavikita, escorodita, hohmannita, pickeringita, sarmientita, rozenita, bianchita, gohetita, ankerita, azufre, illita y otros minerales arcillosos (Angelelli *et al.*, 1983; Aristarain, 1994; Brodtkorb & Gay, 1994).

La zona de oxidación está bien expuesta en un rajo de explotación antiguo, a cielo abierto, de 145 metros de longitud y 8 metros de ancho aproximadamente.

Los especímenes utilizados para este estudio fueron recogidos por el autor en el rajo indicado.

### ANTECEDENTES

El mineral Butlerita ( $\text{Fe OH SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) fue descubierto por Lausen (1928) en la mina United Verde, localizada en Jerome, Arizona, USA. El nombre le fue dado en honor del Dr. Gurdon Montague Butler (1881-1961). Los cuerpos de mena, formados durante el Precámbrico, se encuentran en los bordes y dentro de una chimenea que se inclina marcadamente hacia el noroeste y tiene un diámetro de más de 240 metros de diámetro en su parte más ancha. La chimenea está alojada en la parte cóncava de un cuerpo de diorita que la rodea por el norte y el noroeste; por el sur y por el este está limitada por

esquistos verdes de origen ígneo y sedimentario que fueron invadidos por un pórfiro riolítico. Estas rocas también corresponden al Precámbrico. La mena está formada esencialmente por piritita masiva (hasta 88%), pequeñas cantidades de calopirita, esfalerita y arsenopirita; la ganga se compone principalmente de cuarzo y clorita.

Lausen consideró que la butlerita y otros sulfatos hidratados asociados a ella se formaron recientemente por la reacción de los sulfuros con el agua utilizada al intentar apagar el fuego espontáneo, al comienzo de su desarrollo, que se inició en el nivel menos 90 metros de la mina, en la zona del depósito conocido como Hampton; el fuego principió en 1894 y duró varios años. Los sulfatos secundarios se encuentran principalmente cerca del contacto con la diorita donde existen masas irregulares de cuarzo muy fino que está completamente triturado y atravesado por numerosas grietas donde se depositan los minerales generados por la reacción indicada; también se encuentran en grietas ubicadas en la piritita masiva.

Lausen (1928) pensó que como la butlerita y los sulfatos asociados se formaron en unos pocos meses podría cuestionarse la denominación de minerales, pero razonó que el proceso de formación es similar al de los generados en la actualidad y en el pasado reciente alrededor de la fuentes termales, por lo cual estimó razonable incluirlos como tales. Este autor describió los nueve sulfatos hidratados que se indican a continuación: alunógeno, copiapita, coquimbita, voltaita, butlerita, guildita, ransonita, rogersita y louderbackita. Los cinco últimos fueron señalados como nuevos minerales, pero como el nombre rogersita había sido usado con anterioridad, Butler (1928) sugirió el reemplazo por el de lausita por el mismo Carl Lausen descubridor de ese mineral. En cuanto a la louderbackita resultó ser igual a römerita o roemerita (Palache *et al.*, 1957: 520). Asociados con los sulfatos Lausen describió la jeromita ( $\text{As}(\text{S},\text{Se})_2$ ), pero luego se determinó que era azufre mezclado con arsénico y selenio (Palache *et al.*, 1958: 144).

Lausen encontró a la butlerita cubriendo fragmentos de roca usados para rellenar una excavación en la mina. Los cristales equidimensionales tenían hasta un milímetro de diámetro y el estudio goniométrico indicó que eran rómbicos dipiramidales y con sólo tres formas cristalinas presentes, la bipirámide {111} y dos prismas de segundo orden {101} y {302}; asimismo presentó la tabla de ángulos e incluyó un dibujo del cristal. También dió la relación axial, las características ópticas y un análisis químico que concuerda razonablemente bien con los contenidos teóricos y con el análisis dado por Posnjack & Merwin (1922) para el compuesto artificial  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; en cambio los índi-

ces de refracción dados por estos autores difieren parcialmente con los de Lausen (1928) (ver Tabla 1). Además difiere el sistema cristalino que según Posnjack & Merwin (1922) era monoclinico.

En 1938 Bandy descubrió un nuevo mineral de igual fórmula que la butlerita que denominó parabutlerita, en la localidad Alcaparrosa, provincia de Antofagasta, Chile; también la encontró en Chuquicamata y Quetena. Este autor dió una detallada tabla de ángulos para el nuevo mineral, que tiene hábito prismático paralelo a [001]; las formas más comunes son {110}, {011}, {012} y {111}, y demostró que el mineral era rómbico.

Por otra parte Bandy (1938) sugirió que butlerita era triclinica y pseudorómbica, y por la diferencia entre los índices de refracción entre la butlerita y el compuesto artificial de Posnjack & Merwin (1922) que era monoclinico, indicó un trimorfismo para el compuesto  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Bandy (1938) escribió la fórmula de la siguiente manera  $\text{Fe OH SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , que es la aceptada en la actualidad.

Con el estudio de este último autor aumentó la incertidumbre que existía sobre la butlerita. Como este mineral y la parabutlerita tienen color, dureza, brillo, densidad, índices de refracción y pleocroismo semejantes, la confusión se generalizó.

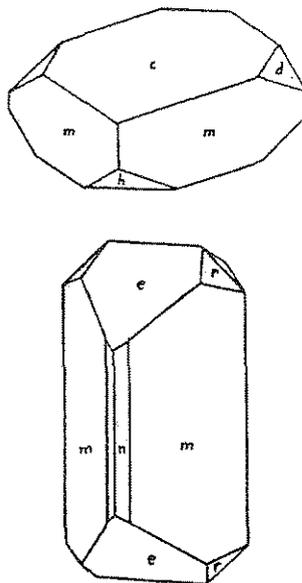


Fig. 1. Cristales de butlerita de hábito tabular (arriba) y de parabutlerita de hábito prismático (abajo) de la mina Santa Elena, departamento Calingasta, San Juan, Argentina (tomados de Gordon, 1941)

El problema fue resuelto años más tarde con los trabajos de Gordon (1941), Cesbron (1964), Borène (1970) y Fanfani *et al.* (1971).

Gordon (1941) describió la butlerita y la parabutlerita de la mina Santa Elena, Alcaparrosa, departamento de Calingasta, provincia de San Juan, Argentina. Este autor encontró cristales de butlerita idiomorfos, tabulares (Fig. 1), monoclinicos, clase Prismática, con  $\beta = 108^\circ 35'$ , con una relación axial  $a:b:c = 0,8752:1:0,7897$ ; las formas predominantes eran  $c$  {001},  $\alpha$  {100},  $m$  {110},  $d$  {011} y  $h$  {101}. También estudió la tabla de ángulos de la parabutlerita, ratificando

su caracter rómbico dipiramidal; los cristales son idiomorfos, prismáticos según el eje  $c$  terminados en ambos extremos, que están compuestos de la formas predominantes que siguen:  $m$  {110},  $n$  {450},  $c$  {101} y  $r$  {122}; la forma  $n$  sólo aparece en los cristales de Chile (Fig. 1). La relación axial es  $a:b:c = 1,3568:1:0,9798$ . Gordon (1941) también observó intercrecimientos orientados de los dos minerales. Estos datos fueron reproducidos por Ahlfeld & Angelelli (1948) y Palache *et al.* (1957).

Cesbron (1964) dio los datos de la celda monoclinica de la butlerita de Jerome, Arizona,

Tabla 1. Propiedades ópticas de butleritas y del compuesto sintético. 1. Fe OH SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O, sintético. 2. Mina United Verde, Jerome, Arizona, USA. 3 y 4. Mina Santa Elena, Calingasta, provincia de San Juan, Argentina.

	Posnjack y Merwin (1922) 1	Lauren (1928) 2	Gordon (1941) 3	Este estudio 4
Carácter	biáxico	biáxico	biáxico	biáxico
$\alpha$	1,588	1,604	1,593	1,595 (1)
$\beta$	1,678	1,674	1,665	1,666 (1)
$\gamma$	1,749	1,731	1,741	1,743 (1)
Signo óptico	-	-	+	+
$2V$			cercano a $90^\circ$	$85^\circ$
Pleocroismo X	incolore	amarillo pardusco claro	incolore	incolore
Y	amarillo débil		amarillo débil	amarillo muy claro
Z	amarillo claro	amarillo canario	amarillo claro	amarillo claro
Orientación	$Z = b$ $X \wedge c = 19^\circ (2)$		$Z = b$ $X \wedge c = -18^\circ$	$Z = b$ $X \wedge c = -17^\circ$
Birrefringencia		alta	alta	alta

Tabla 2. Datos de la celda unitaria de butleritas y del compuesto sintético. 1 y 2. Mina United Verde, Jerome, Arizona, USA. 3. Mina Santa Elena, Calingasta, provincia de San Juan, Argentina. 4. Fe OH SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O sintético, Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1975, File card 25-409. \* Calculado con los datos del autor.

	Cesbron (1964) 1	Fanfani <i>et al.</i> (1971) 2	Este estudio 3	JCPDS (1975) 4
Sistema	monoclinico	monoclinico	monoclinico	monoclinico
Grupo espacial	$P 2_1/m$	$P 2_1/m$	$P 2_1/m$	$P 2_1/m$
$a \text{ \AA}$	6,44	6,50 (1)	6,499 (1)	6,511
$b \text{ \AA}$	7,31	7,37 (1)	7,378 (1)	7,379
$c \text{ \AA}$	5,87	5,84 (1)	5,848 (1)	5,855
$\beta$	$108^\circ 28'$	$108^\circ 23' (5)$	$108^\circ 28' (5)$	$108^\circ 52'$
Vol. celda $\text{\AA}^3$	262,11*	265,68*	265,98	266,18*
Densidad $\text{g/cm}^3$				
medida		2,55	2,552	2,54
calculada		2,53	2,559	2,551
Z	2	2	2	2
$a : b : c$	0.881 : 1 : 0.803	0.8819 : 1 : 0.7924*	0.8809 : 1 : 0.7926	0.8824 : 1 : 0.7935*

y de la celda unitaria rómbica de la parabutlerita de Alcaparrosa, Chile. Borène (1970) determinó la estructura del último mineral citado ratificando el sistema rómbico. Fanfani *et al.* (1971) estudiaron la estructura de la butlerita con cristales de la localidad tipo, Jerome, Arizona, y confirmaron la simetría monoclinica de la misma; también dieron las densidades del mineral, el grupo espacial, las dimensiones de la celda y los parámetros relacionados que se indican en la Tabla 2.

Con estos estudios se determinó claramente la identidad entre la butlerita y el compuesto sintético citado por Posnjak & Merwin (1922) y se demostró el dimorfismo del sulfato de hierro indicado.

Ronsenzweig & Gross (1955) también citaron la butlerita y la parabutlerita para la localidad Calf Mesa, San Rafael Swell, Dexter mine 7, Utah, USA, pero no indicaron las características de ellas.

## RESULTADOS

### Modo de presentarse

La butlerita de la mina Santa Elena se presenta como cristales idiomorfos de hábito tabular, que tienen vistos desde arriba forma hexagonal, que alcanzan hasta un milímetro en su sección transversal y que forman agregados pulverulentos friables.

Los cristales son monoclinicos y corresponden a la clase Prismática; las formas predominantes son el tercer pinacoide  $c$  {001}, el primer pinacoide  $a$  {100}, el prisma de tercer orden  $m$  {110}, el prisma de primer orden  $d$  {011} y el pinacoide de segundo orden negativo  $h$  {101}; la figura 1 muestra un cristal de butlerita en el hábito indicado. Gordon (1941) dio la tabla de ángulos utilizando cristales de la misma mina Santa Elena.

Los minerales asociados se indican en la introducción, destacándose la presencia de parabutlerita cuyo dibujo se presenta también en la figura 1 y cuyas propiedades son similares a las indicadas por Bandy (1938).

### Propiedades físicas y ópticas

Los cristales estudiados son transparentes e incoloros a débilmente amarillos, pero en los agregados tienen color amarillo anaranjado, la raya es amarilla clara y el brillo es vítreo.

La dureza es 2 1/2 y la densidad medida es 2,552 g cm<sup>-3</sup> que se corresponde bien con el valor calculado 2,559 g cm<sup>-3</sup> para la composición teórica. El mineral es frágil, tiene un clivaje {100} muy bueno y presenta abundante maclado que según Gordon (1941) corresponde a {105}.

La butlerita es biáxica positiva,  $\alpha = 1,595(1)$ ,

$\beta = 1,666(1)$  y  $\gamma = 1,743(1)$  con luz de sodio y el ángulo  $2V$  es estimado en 85° (calculado 88° 30'); la orientación de los ejes ópticos en relación con los ejes cristalográficos es  $Z = b$  y  $X \wedge c = -17^\circ$  y la birrefringencia es alta. El mineral presenta pleocroismo con  $X =$  incoloro,  $Y =$  amarillo muy débil y  $Z =$  amarillo claro.

En la Tabla 1 se comparan las propiedades ópticas con las indicadas por Lausen (1925) y Gordon (1941) y con las obtenidas por Posnjak & Merwin (1922) para el compuesto sintético.

### Estudios con rayos X

Tabla 3. Datos de diagramas de polvo con rayos X de butlerita de Argentina y de Fe OH SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O. \*Butlerita de la mina Santa Elena, Calingasta, provincia de San Juan, Argentina. \*\* Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1975, File card 25-409

hkl	Este estudio*		Fe OH SO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O**	
	d observad o	I/I <sub>1</sub>	d observad o	I/I <sub>1</sub>
100	6,16	5	6,17	4
001	5,54	7	5,55	6
10 $\bar{1}$	4,98	100	4,99	100
110	4,74	9	4,74	10
011	4,43	9	4,44	8
020	3,670	1	3,689	2
101	3,597	17	3,599	14
111	3,234	14	3,235	12
120	3,165	52	3,167	45
021	3,076	17	3,076	12
21 $\bar{1}$ -10 $\bar{2}$	2,899	2	2,902	2
210	2,849	5	2,849	2
11 $\bar{2}$			2,699	4
012	2,596	2	2,598	2
121	2,569	4		
20 $\bar{2}$	2,495	14	2,496	10
201	2,392	6	2,393	2
211-102	2,276	5	2,277	2
301	2,165	1		
131	2,031	3	2,032	2
221	2,007	3	2,009	2
310-30 $\bar{2}$	1,982	2	1,983	2
31 $\bar{2}$	1,913	1	1,914	2
040	1,843	6	1,844	10
212-041	1,748	4	1,748	2
14 $\bar{1}$	1,730	3	1,731	2
30 $\bar{3}$	1,664	3	1,663	2
141	1,639	3	1,641	4
222	1,616	4	1,617	4
240	1,583	3	1,583	2

Siguen líneas adicionales con intensidades menor que 1

Tabla 4. Análisis químicos de butlerita, del compuesto sintético y composición teórica. 1. Compuesto sintético, H<sub>2</sub>O por diferencia. 2. Mina United Verde, Jerome, Arizona, USA; análisis por T. F. Buehrer. Otros: FeO 0,41 % y Na<sub>2</sub>O 2,73% considerados como impurezas

Componentes	Posnjack y Merwin (1922) Peso % 1	Lausen (1928) Peso % 2	Recalculado a 100% Peso % 3	Composición teórica Peso % 4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,80	36,31	36,93	38,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,55	0,56	
SO <sub>3</sub>	39,13	38,63	39,29	39,06
H <sub>2</sub> O	22,07	22,83	23,22	21,98
Otros		3,14		
Totales	100,00	101,46	100,00	100,00

La butlerita fue estudiada con rayos X usando cartas de difracción y cámaras de polvo con radiación de cobre y filtro de níquel y por el método de precesión para cristal único, con radiación de molibdeno y filtro de circonio tomando *a*, *b* y *c* como ejes de precesión para los niveles cero y primero.

Los valores de la celda unitaria se dan en la Tabla 2, donde también se indican los valores correspondientes al mineral de Jerome, Arizona, y al compuesto sintético.

En la Tabla 3 se reproducen los valores *d*, que corresponden a los espaciados de la red cristalina del mineral de Santa Elena, provincia de San Juan, junto con las intensidades y los índices de las formas, que coinciden con los datos del compuesto artificial que también se agregan a la misma.

#### Datos químicos

La fórmula química de la butlerita es Fe OH SO<sub>4</sub> 2 H<sub>2</sub>O o bien Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2 SO<sub>3</sub> 5 H<sub>2</sub>O. En la Tabla 4 se indican los análisis presentados por Lausen (1928), Posnjack & Merwin (1922), y los valores correspondientes a la fórmula teórica.

La estructura del mineral (Fanfani *et al.*, 1971) se compone de cadenas situadas a lo largo del eje *b* que están formadas por octaedros con Fe en el centro y 2 OH, 2 H<sub>2</sub>O y 2 O en los vértices; los octaedros se unen entre sí compartiendo dos hidroxilos ubicados en vértices opuestos; tres átomos de hierro se disponen en los extremos y en el medio de las cuatro aristas paralelas al eje *b*.

El azufre está rodeado por cuatro átomos de oxígeno formando tetraedros, dos de ellos son compartidos por dos octaedros vecinos; dos tetraedros por celda se disponen en la parte central de la misma, cuyos centros están desplazados a lo largo de la dirección *b*, hacia las aristas determinadas por la diagonal menor del paralelogramo formado por *a* y *c*.

Las cadenas se unen entre sí por uniones hidrógeno para formar la red tridimensional.

Esta estructura es muy similar a la de la parabutlerita (Borène, 1970) que también presenta tetraedros y octaedros similares, pero estos últimos forman cadenas paralelas al eje *a* que están desplazadas medio periodo entre sí a lo largo de este eje.

En la Tabla 5 se dan los datos del espectro de absorción infrarroja con la indicación del número de onda en cm<sup>-1</sup> para cada pico y las características de los mismos.

Cesbron (1964) presentó el análisis térmico diferencial de la butlerita con calentamiento hasta 1000°C, señalando la presencia de tres picos endotérmicos bien definidos con valores máximos a 280°C (muy grande), 580°C (mediano) y 800°C (grande), el primero presenta un hombro a los 230°C; el diagrama de la parabutlerita es muy similar.

Tabla 5. Espectro de absorción infrarroja de butlerita de la Mina Santa Elena, Calingasta, provincia de San Juan, Argentina. p: pequeño. m: mediano. f: fuerte. ff: muy fuerte. a: ancho.

Número de onda cm <sup>-1</sup>		Número de onda cm <sup>-1</sup>	
325	f	1526	p
395	p	1560	p
505	f	1650	ff
597	m	1796	p
655	p	1840	p
695	p	1985	p
1000	f	2110	ma
1022	p	2330	ma
1110	f	3080	ma
1138	p	3140	ma
1170	p	3192	p
1230	p	3222	p
1394	p	3248	p
1470	p	3284	p

## BIBLIOGRAFIA

- Ahlfeld, F. & V. Angelelli. 1948. *Las especies minerales de la República Argentina*. Univ. Nac. Tucumán, Inst. Geol. y Min., Jujuy, p. 189-190.
- Angelelli, V. & A. Chaudet. 1937. Sobre dos sulfatos de hierro de la mina Santa Elena, provincia de San Juan. *Revista Minera, Soc. Arg. Min. Geol.* 8: 46-52
- Angelelli, V. & R. A. Trelles. 1938. Las alumbreras de Rodeo y Barreal y los sulfatos de hierro de La Alcaparrosa (prov. de San Juan). Estudio minero-geológico. *Bol. Obras Sanitarias de la Nación*, Buenos Aires, N° 8: 139-158, N° 9: 264-279 y N° 10: 380-393
- Angelelli, V., M. K. de Brodtkorb, C. E. Gordillo & H. D. Gay. 1983. *Las especies minerales de la República Argentina*. Publ. Esp., Serv. Min. Nac., Buenos Aires., pp. 295-297.
- Aristarain, L. F. 1994. Comunicación personal en Brodtkorb y Gay (1994) p. 50-51
- Bandy, M. C. 1938. Mineralogy of three sulfate deposits of northern Chile. *Am. Mineral.* 23(11): 669-760.
- Borène, M. C. 1970. Structure cristalline de la parabutlerite. *Bull. Soc. Française Minéral. et Cristall.* 93: 185-189.
- Brodtkorb, M. K. de & H. D. Gay. 1994. Las especies minerales de la República Argentina. Anexo 1981-1994. *Inst. Recursos Minerales, Univ. Nac. La Plata, Publ.* N° 4, 110 pp.
- Butler, G. M. 1928. Corrections to volume 13, N° 6, p. 225. *Am. Mineral.* 13(12): 594.
- Cesbron, F. 1964. Contribution à la minéralogie des sulfates de fer hydratés. *Bull. Soc. Française Minéral. et Cristall.* 87(2): 124-143.
- Fanfani, I., A. Nunzi & P. P. Zanazzi. 1971. The crystal structure of butlerite. *Am. Mineral.* 56(5-6): 751-757.
- Gordon, S. G., 1941. Slavikite, butlerite and parabutlerite from Argentina. *Notulae Naturae, Acad. Nat. Sci. Philadelphia*, 89: 1-8.
- Joint Committee on Powder Diffraction Standards. 1975. File card 25-409.
- Lausen, C. 1928, Hydrrous sulphates formed under fumerolic conditions at the United Verde mine. *Am. Mineral.* 13(6): 203-229.
- Meisse, E. & M. Maidana. 1983. Mina Santa Elena, La Alcaparrosa, provincia de San Juan. *Segundo Congr. Nac. Geol. Económ.*, San Juan, Argentina, Tomo II, p. 551-566.
- Palache, C., H. Berman & C. Frondel. 1957. *The System of Mineralogy, Seventh Edition*. John Wiley and Sons, New York, Volume II second printing, p. 608-611.
- 1958. *The System of Mineralogy, Seventh Edition*. John Wiley and Sons, New York, Volume I fifth printing, p. 144.
- Posnjak, E. & H. E. Merwin. 1922. The system ferric oxide-sulfur trioxide-water. *J. Am. Chem. Soc.* 44: 1978-1979.
- Rosenzweig, A. & E. B. Gross. 1955. Goldichite, a new hydrous potassium ferric sulfate from the San Rafael Swell, Utha. *Am. Mineral.* 40(5-6): 469-480.

Recibido: 15-XI-1998

Aceptado: 29-X-1999