

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

TOMO X

1991

GEOLOGÍA N° 95

**PROBERTITA, $\text{Na CaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, DE TINCALAYU,
SALTA, ARGENTINA.**

LORENZO FRANCISCO ARISTARAIN⁽¹⁾

RESUMEN

Se presentan las características físicas y químicas del mineral probertita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) encontrado en la mina Tincalayu, Salta, Argentina, incluida en ulexita densa, formando nódulos de hasta 2 cm de diámetro constituidos por cristales elongados según [001] que miden hasta 5 mm de largo y 1 mm de sección en disposición radial. También se encuentran cristales individuales idiomorfos, bien formados, contenidos en borax y kernita, que miden 0,5 mm de longitud por 0,1 mm de ancho, elongados según el eje *c*. Es transparente e incoloro y tiene brillo vítreo que en el caso de los cristales aislados es muy intenso; no presenta fluorescencia ni fosforescencia. Cristaliza en el sistema monoclinico, clase prismática 2/m; la forma predominante es {110}, siendo observables {010} y {100} con desarrollo mucho menor, y en los extremos se encuentran {001}, $\{\bar{2}01\}$, $\{\bar{1}11\}$ y $\{\bar{2}11\}$ (índices con la nueva celda $P2_1/a$). Tiene 3 clivajes paralelos a {110} perfecto, {010} bueno y {100} pobre; la dureza es 3 1/2, la densidad medida es 2,133 y la calculada 2,130 g cm⁻³. Las propiedades ópticas son: biáxico (+), $\omega = 1,516$, $\beta = 1,525$, $\delta = 1,546$, $\pm 0,001$ luz Na), birrefringencia 0,030, $2V = 66^\circ$ (medido) y 68° (calculado), $Y = b$, $Z \wedge c = 17^\circ$, $r > v$ y elongación (+). El grupo espacial es $P2_1/a$, $a = 13,421$ (1), $b = 12,558$ (1), $c = 6,591$ (1) Å, $\beta = 100^\circ 01'$ (5), volumen 1093,9 Å³, $a : b : c = 1,0687 : 1,05248 : 4$. Las líneas más intensas en diagramas de polvo son en Å 9,09 (100), 2,925 (30), 6,61 (28), 3,993 (25), 4,553 (21), 3,537 (18), 3,304 (17), 1,803 (17), 2,885 (16) y 2,835 (13). Un análisis químico da en peso %: CaO 13,56; MgO 0,09; Na₂O 9,47, B₂O₃ 46,45, H₂O 26,96 e insoluble 3,47 (por diferencia), total 100,00. Se presenta el espectro infrarrojo; el mineral es ligeramente soluble en agua fría o caliente pero fácilmente disuelto en ácidos diluidos.

Palabras clave: Mineralogía - Boratos - Probertita - Tincalayu.

ABSTRACT

PROBERTITE, $\text{Na CaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, FROM TINCALAYU. SALTA. ARGENTINA. The physical and chemical properties of probertite ($\text{Na CaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) found in the Tincalayu mine, Salta, Argentina are presented. The mineral is included in dense ulexite, forming nodules till 2 cm in diameter with crystals

(1) Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata y CONICET.

elongated along [001] disposed radially measuring till 5mm and 1mm across. Idiomorphic well formed crystals contained in borax and kernite are also found, which have a length of 0,5mm (*c* axis) and a width of 0,1 mm. It is transparent, colorless and has vitreous luster which is very intense in the isolated crystals; it does not show fluorescence nor phosphorescence. Probertite is monoclinic, $2/m$; the predominant form is {110}, with {010} and {100} quite less developed, ending with {001}, $\{201\}$, $\{\bar{1}11\}$ and $\{2\bar{1}1\}$ (indices with the new cell $P2_1/a$). Cleavages: {110} perfect, {010} good and {100} poor; the hardness is $3\frac{1}{2}$, the density = 2.133 (measured) and the calculated density 2.130 g cm^{-3} . The mineral is optically biaxial (+); $\omega = 1.516$, $\beta = 1.525$, $\gamma = 1.546 \pm 0.001$ (Na light), birefringence = 0.030, $2V = 66^\circ$ (measured) and 68° (calculated), $Y = b$, $Z \wedge c = 17^\circ$, $r > v$, elongación (+). Space group $P2_1/a$, $a = 13.421(1)$, $b = 12.558(1)$, $c = 6.591(1)$ Å, $\beta = 100^\circ 01'$ (5), volumen 1093.9 \AA^3 , $a : b : c = 1.0687 : 1 : 0.5248$, $Z = 4$. The strongest lines in the x-ray powder chart are in Å: 9.09 (100), 2.925 (30), 6.61 (28), 3.993 (25), 4.553 (21), 3.537 (18), 3.304 (17), 1.803 (17), 2.885 (16) and 2.835 (13). A chemical analysis gives wt %: CaO 13.56; MgO 0.09; Na₂O 9.47; B₂O₃ 46.45; H₂O 26.96; insoluble 3.47 (by difference); total 100.00. The infrared spectrum is presented; the mineral is slightly soluble in cold and hot water but easily soluble in diluted acid solutions.

Key words: Mineralogy- Borates- Probertite- Tincalayu.

INTRODUCCION

Probertita fue descrita por primera vez en el año 1929 por A.S. Eakle a partir de especímenes del distrito boracífero de Kramer, Kern County, California, USA. El nombre fue dado en honor de Frank H. Probert, entonces Decano del Mining College de la Universidad de California; en algunas publicaciones ha sido deformado a proberita. El análisis químico presentado en el estudio por ese autor lo llevó a la fórmula $\text{Na}_2\text{CaB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ que con posterioridad se demostró ser incorrecta.

Casi simultáneamente con el trabajo de Eakle el mineral también fue descrito por Schaller, en forma independiente, en la publicación "Shorter Contributions to General Geology, 1929" del U.S. Geological Survey, que se editó en 1930. Este autor lo bautizó con el nombre kramerita que carece de validez puesto que el estudio de Eakle apareció el año anterior, lo cual le otorga prioridad. Schaller presentó las formas cristalinas, las propiedades y un análisis químico del cual derivó la fórmula correcta $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (= $\text{Na Ca B}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) para lo cual también uso cristales de Kramer.

En 1931 Foshag publicó el estudio del mineral hallado en las minas Widow y Upper Bidy McCarthy, del distrito Ryan, Inyo County, California; luego se lo descubrió en otras minas de la misma área tal como la Grestley; el nombre bodyite fue usado localmente en esa época en la región de Death Valley, así como la deformación bodyite.

En 1945 Murdoch citó una nueva localidad, mina Lang, Los Angeles County, California. En 1958 Ham y Curtis citaron la presencia de probertita en el distrito Weatherford-Clinton, Custer County, Oklahoma, USA, la cual fue descrita por Ham, Curtis y Schleicher el mismo año, y en 1961 Ham, Mankin y Schleicher citaron el mineral para las localidades Southard y al NE de Watonga, también en Oklahoma.

Con posterioridad Melnikzaya (1963) presentó los resultados de su estudio del mineral de un depósito de yeso del Pérmico inferior de la URSS; Zaritskiy (1963, 1964) señaló su presencia en sedimentos de la región Bakhmuta, Ucrania, y Korobov, Malinko y Sedletskii (1965) indicaron su descubrimiento en el Asia Central, estas dos últimas localidades también en la URSS.

En la Argentina, fue encontrado durante el estudio sistemático de la mineralogía de la mina Tincalayu, provincia de Salta, ubicada en la parte norte del Salar del Hombre Muerto (Fig. 1), unos 146 km. al sur de la estación Salar Pocitos del Ferrocarril General Manuel Belgrano; la presencia de probertita en este depósito ya se había informado en Aristarain *et al.* (1977).

Los parámetros de la celda unitaria fueron publicados por Barnes (1949 a y b) y posteriormente Clark y Christ (1959) reinvestigaron esos datos adoptando una nueva orientación de la celda y dieron los espaciados d y los índices correspondientes.

La estructura del mineral fue estudiada por Kurbanov *et al.* (1963) y Rumanova *et al.* (1965).



FIG. 1 - Ubicación del Salar del Hombre Muerto y de la mina Tincalayu, Salta, Argentina.

TIPOS DE DEPOSITOS Y FORMAS DE PRESENTARSE DEL MINERAL

La probertita se presenta en tres tipos de depósitos: a) en yacimientos de yeso, b) en capas de colemanita y ulexita, y c) en cuerpos de borax.

Para el primer caso pueden citarse como ejemplos las localidades del distrito de Weatherford-Clinton, Oklahoma, y la región de Bakhmuta, Ucrania. En ese distrito, la probertita se encuentra en la parte inferior de la Fm. Cloud Chief del Pérmico medio (?) como nódulos compactos, con aspecto de porcelana blanca, esféricas, parcialmente aplanados paralelamente a los planos de sedimentación, que miden de 6 a 12 mm de diámetro. Está asociada con ulexita y priceita, pero nunca en contacto directo con ellas, y con thenardita, celestita, calcita, dolomita y cuarzo (Ham *et al.* 1958). En la depresión Bakhmuta el mineral forma parte de la Fm. Artemovka del Pérmico inferior que aflora en la parte este de esa área. Zaritskiy (1963, 1964) indica que se presenta como inclusiones redondeadas u ovoides densas, de varios milímetros de diámetro, de color blanco y brillo sedoso a vítreo, difíciles de distinguir a simple vista de la ulexita; en otros casos forma agregados de cristales aciculares que miden 0,5 mm de longitud. Se encuentra asociado con ulexita, inyoita, nderita, hidroboracita, kernita (?), calcita, dolomita y thenardita. En este tipo de depósitos los boratos aparecen en el yeso, cerca del contacto con la anhidrita y según Ham *et al.* (1958) son minerales secundarios originados por los procesos de hidratación del yeso por aguas meteóricas descendentes. Estas acumulaciones no forman depósitos económicos de boro.

Como ejemplos del tipo b) pueden mencionarse el distrito Ryan y la mina Lang, ambas localidades están en California. En los depósitos de colemanita y ulexita de Ryan el mineral se encuentra como agregados discoidales a nodulares de hasta 40 mm de radio (Fotografía 1), fibrosos, radiales y con un brillo vítreo a satinado, o bien como grupos reticulares densos; los cristales aciculares o acintados son traslúcidos, raramente transparentes y alcanzan hasta 20 mm de longitud. También se han encontrado masas con textura botrioidal: algunos cristales aciculares alcanzan a 30 cm de largo. El mineral está asociado con arcillas bentónicas, margas y colemanita (Foshag, 1931).

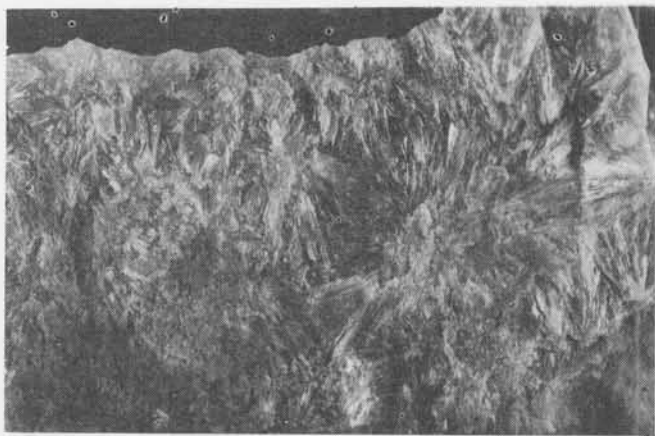


FOTO 1 - Agregados discoidales de probertita formados por cristales aciculares dispuestos radialmente; espécimen de la mina Grestley, Inyo County, California, USA. x1

En la mina Lang el mineral se encuentra como agregados lenticulares compuestos por prismas delgados dispuestos radialmente que miden 15 mm de longitud por 0,5 mm transversalmente; está asociado con colesmanita, ulexita, howlita y aragonita (Murdoch, 1945). Foshag (1931) indica que el peso de los sedimentos que sepultaron el depósito y la presión tectónica que los deformó favorecieron la transformación de ulexita a probertita.

El tercer tipo de depósitos c) está representado por los yacimientos de borax de Kramer, California, y Tincalayu, Salta. En el primer ejemplo, Según Eakle (1929), el mineral se presenta en cristales incoloros, prismáticos, con brillo vítreo, que forman nódulos de hasta 3 cm de diámetro incluidos en kernita, borax y arcillitas verdes. En ese mismo depósito Schaller (1930) encontró además cristales individuales idiomorfos. En Kramer también aparece ulexita compacta con forma de hongos (fotografía 2) en la cual se encuentran incluidos algunos sectores de probertita que se identifican por su aspecto menos fibroso y lustre vítreo (Murdoch, 1945; Morgan y Erd, 1969).

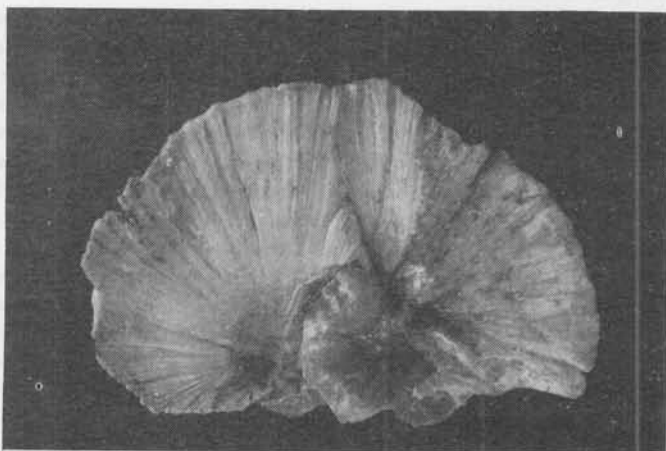


FOTO 2 - Parte superior de un "hongo" de ulexita, con aspecto de embudo, vista de su cara superior cóncava, que incluye pequeños sectores de probertita; espécimen del distrito Kramer, California, USA. x 3/4.

Los minerales asociados forman una larga lista, en la cual figuran los siguientes boratos: borax, kernita, tincalconita, kurnakovita, inderita, inyoita, meyerhofferita, colesmanita, ulexita, hidroboracita y tunelita, y

los borosilicatos: howlita, garrelsitita y searlesita.

En el yacimiento de Tincalayu, la probertita también se encuentra en pequeños nódulos, cuyas características se indican en la próxima sección, así como las condiciones generales de su formación que son similares para ambos ejemplos.

GENERALIDADES SOBRE EL DEPOSITO DE TINCALAYU

El cuerpo de borax está incluido en sedimentos continentales del Terciario que rellenan la cuenca del Salar del Hombre Muerto, la cual está enmarcada al oeste por el Cordón del Gallego y la serranía Incahuasi, formados por sedimentitas y leptometamorfitas marinas verdes del Ordovícico medio a superior de la Formación Falda Ciénaga (Aceñolaza *et al.* 1975), y al este por las metamorfitas de la Formación Oire y los plutones graníticos que la intruyen, la Faja Eruptiva de la Puna Oriental, también del Ordovícico (Turner, 1960 y 1964; Mendez *et al.* 1972; Omarini *et al.* 1984) y las rocas esencialmente andesíticas del Mioceno-Plioceno de los volcanes Ratonés y Hombre Muerto (Catalano, 1964; Muessig y Allen, 1957; Alonso, 1986). Las rocas del Paleozoico probablemente forman el substrato de la depresión sobre el cual se depositaron sedimentitas y vulcanitas que alcanzaron a más de 5000 m de espesor desde el Eoceno medio al Pleistoceno. En la parte inferior se encuentran rocas equivalentes al Grupo de Pastos Grandes, formado principalmente por rocas clásticas y químicas (Turner, 1960 y 1964; Alonso, 1986), integrado por las formaciones Geste (500 m), Pozuelos (300 m) y Sijes (2500 m), a las que se superponen la Formación Catal (1000 m) integrada por ignimbritas, tobas y conglomerados (Alonso, 1986) y las vulcanitas terciarias de los centros mencionados. Durante el Cuaternario se agregaron las ignimbritas y basaltos de la Formación Incahuasi y los depósitos detríticos y químicos que coronan el relleno de la cuenca (Alonso, 1986).

El yacimiento de borax se localiza en la parte norte del salar en el área denominada "península" de Tincalayu, que es un pequeño bloque elevado tectónicamente. En esta zona, del Grupo de Pastos Grandes sólo aflora parte de la Fm. Sijes (Mioceno-Plioceno) en la cual Alonso (1986) distingue 3 miembros concordantes con 200-250 m de espesor: Halítico (>147 m), Boracífero (≈ 30 m de promedio; edad $5,86 \pm 0,14$ m.a.) y Pelfítico (≈ 30 m de promedio). Sobre estos se superponen en discordancia angular la Fm. Tincalayu (Plioceno-Pleistoceno) formada por 30 m de fanglomerados con intercalaciones de travertinos y rocas piroclásticas y la Fm. Incahuasi (Pleistoceno, edad $0,754 \pm 0,02$ m.a.) compuesta por 23,5 m de basaltos y brecha-basáltica. La Fm. Sijes presenta una fuerte deformación tectónica, con fallas y plegamientos submeridionales, que elevó parte de la misma sobre el nivel de la superficie actual del salar; además el Miembro Boracífero sufrió una intensa diagénesis. La edad de esta formación en la localidad tipo había sido atribuida al Plioceno (Turner, 1964), al Plioceno superior (Aristarain *et al.* 1977), al Pleistoceno o Reciente (Pratt, 1961) y al post-Plioceno (Catalano, 1964) para el área del Salar del Hombre Muerto.

El yacimiento de Tincalayu se originó como un depósito de precipitación química en una cuenca cerrada bajo condiciones de extrema aridez; el boro tendría su origen en las fuentes termales relacionadas con el vulcanismo contemporáneo en sentido amplio y en el lavado de rocas efusivas de la región. Muessig y Allen (1957) estiman que el borax se acumuló como un depósito de playa que luego recristalizó formando una masa compacta, Alonso (1986) considera la precipitación en un lago pequeño. El peso de la pila sedimentaria más las presiones tectónicas, y el gradiente geotérmico y/o el calor generado por las pequeñas intrusiones basálticas que se observan en el salar habrían provocado la deshidratación parcial de la ulexita, con la consiguiente formación de probertita, así como de otros minerales menos hidratados que los correspondientes componentes habituales de los depósitos de superficie. Christ *et al.* (1967) señalan que la disminución de la actividad del H_2O y/o el aumento de temperatura producirán el pasaje a los compuestos menos hidratados.

El depósito mineral está compuesto casi exclusivamente por tetraboratos de sodio hidratados y minerales detríticos; la mena está formada por borax y en mucha menor proporción por los productos de su deshidratación, la kernita (Hurlbut, Aristarain y Erd, 1973) durante la diagénesis y la tincalconita por la meteorización actual. Asociados con aquellos se encuentran ulexita (Aristarain, *et al.*, 1977) y searlesita (Aristarain *et al.*, 1977) que son relativamente frecuentes, además de otros boratos raros y escasos. Entre estos últimos han sido descriptos: rivadavita, ezcurrita (Hurlbut y Aristarain, 1967 a y b), ameghinita, macallisterita (Aristarain y Hurlbut, 1967 a y b, aristarainita (Hurlbut y Erd, 1974), kurnakovita y estroncioginorita. También se han identificado: calcita, magnesita, dolomita, halita, yeso, sanbornita y

varios minerales detríticos comunes. La cantidad de proberbita es del orden de gramos por tonelada.

MORFOLOGIA

Como se ha señalado la proberbita de Tincalayu se presenta formando nódulos en ulexita densa, cuyos diámetros miden hasta 2 cm, los cuales están compuestos por cristales columnares elongados según [001] que miden hasta 5 mm de largo y 1 mm de sección y se disponen en forma radial. Los cristales tienen brillo vítreo, son transparentes e incoloros. La fotografía 3 muestra un nódulo de esta localidad del cual se extrajo el material para el análisis químico; en este espécimen el mineral está asociado, además, con searlesita, rivadavita y tincalconita.

También se encuentran cristales individuales idiomorfos incluidos en el borax y la kernita, presentando igual elongación, que alcanzan 0,5 mm de longitud y 0,1 mm de sección y tienen un brillo vítreo muy intenso. El mineral cristaliza en el sistema monoclinico y pertenece a la clase prismática 2/m. La forma predominante es {110} siendo observables en la misma zona {010} y {100} con desarrollo mucho menor; en los extremos se presentan {001}, {201}, {111} y {211}; la figura 2 muestra el hábito y las formas cristalinas del mineral idiomorfo de Tincalayu.

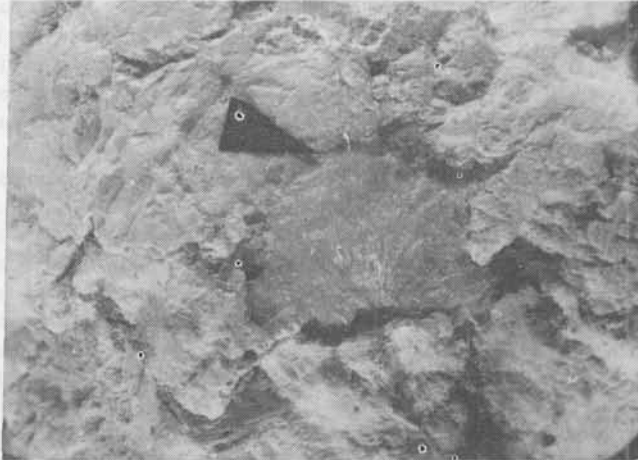


FOTO 3 - Nódulo de proberbita incluido en ulexita densa, espécimen de la mina Tincalayu, Salta, Argentina. x1

TABLA 1 - Angulos de proberbita* orientada según el grupo espacial P2₁/a.

Sistema: monoclinico, clase prismática 2 / m

a : b : c = 1,0680 : 1 : 0,5244

B = 100° 19'

p₀ : q₀ : r₀ = 0,4910 : 0,5159 : 1

r₂ : p₂ : q₂ = 1,9384 : 0,9517 : 1

μ = 79° 41'

p'₀ = 0,4990 q'₀ = 0,5244 x'₀ = 0,1820

Formas		ψ	ρ	ψ ₂	ρ ₂ = B	C	A
nuevas con P ₂ /a	antiguas con P ₂ ₁ /n						
c 001	d 101	90° 00'	10° 19'	79° 41'	90° 00'	-----	79° 41'
b 010	b 010	0° 00'	90° 00'	-----	0° 00'	90° 00'	90° 00'
a 100	a 100	90° 00'	90° 00'	0° 00'	90° 00'	79° 41'	-----
m 110	m 110	43° 35'	90° 00'	0° 00'	43° 35'	82° 54'	46° 25'
o 201	t 101	-90° 00'	39° 13'	129° 13'	90° 00'	49° 32'	129° 13'
q 111	e 011	-31° 09'	31° 30'	107° 35'	63° 26'	37° 46'	105° 41'
s 211	p 111	-57° 17'	44° 08'	129° 13'	67° 54'	53° 06'	125° 52'

* Tincalayu, Salta, Argentina; los índices nuevos de las formas corresponden a Clark y Christ (1959) y los antiguos de Schaller (1930) y a Barnes (1949a).

La Tabla 1 presenta las coordenadas angulares de las formas indicadas para las orientaciones comunes: con $\beta > 90^\circ$ en el plano vertical y hacia adelante, y con $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \delta$; también se dan los ángulos interfaciales de las formas con los tres pinacoides de primer orden, la relación axial, los elementos de proyección, gnomónica y polares, y los valores de $\beta (= 100^\circ 19')$ y μ , todos determinados con un goniómetro de doble círculo.

Se hace notar que la orientación y los índices de las formas adoptadas en este trabajo son coincidentes con los de Clark y Christ (1959) quienes tomaron una nueva celda unitaria que corresponde al grupo espacial $P2_1/a$. Esta orientación difiere de la propuesta por Schaller (1930), determinada por goniometría óptica, quien tomó un valor de $\beta = 107^\circ 44'$ (según los índices de las formas que se dan en ese estudio, aunque escribió el valor suplementario de $72^\circ 16'$). Palache, Berman y Frondel (1951) ratificaron la presentación del cristal según Schaller, la cual fue ratificada por Barnes (1949 a y b) mediante un estudio con rayos X, según el cual se tomó una celda unitaria $P2_1/n$. Cuando años más tarde, en 1959, Clark y Christ definieron la nueva celda $P2_1/a$ resultó un ángulo β menor ($= 100^\circ 15'$ para ellos) que el original y que en consecuencia es preferible.

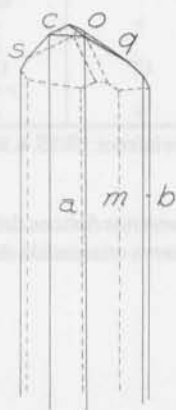


FIG. 2 - Hábito y formas comunes de la probertita de Tincalayu, Argentina, orientada con la nueva celda $P2_1/a$.

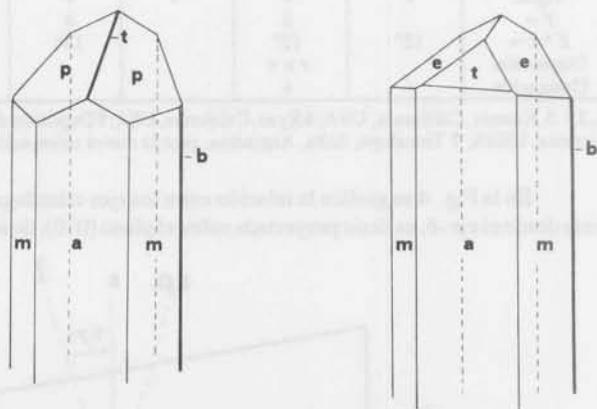


FIG. 3 - Hábito y formas presentes en la probertita de Kramer, USA, tomada de Schaller (1930), orientada según la antigua celda $P2_1/n$.

En ambas orientaciones los ejes cristalográficos b y c son coincidentes pero los últimos autores rotaron el cristal 180° según el eje c y tomaron como (001) la cara $(\bar{1}01)$ de Schaller; la matriz de transformación de los índices antiguos a los nuevos $\bar{1}01/010/001$. En la Tabla 1 se indican también la denominación y los índices de las formas según Schaller para comparación. En la figura 3 se reproducen 2 dibujos tomados de Schaller (1930) que representan al mineral en su antigua orientación.

PROPIEDADES FISICAS

La probertita tiene tres clivajes paralelos a $\{110\}$ perfecto, $\{010\}$ bueno y $\{100\}$ pobre, es incolora y transparente, a veces traslúcida por inclusión de arcillas, y presenta un brillo vítreo que puede llegar a ser muy intenso; su dureza es $3 \frac{1}{2}$.

La densidad es $2,133 \text{ g cm}^{-3}$, medida por el método del picnómetro sugerido por Fahey (1961), y similar al determinado por otros autores (ver tabla 3), el valor calculado para el material de Tincalayu con los datos de la celda unitaria (Tabla 3) y con el análisis químico de Tabla 5, corregido por H_2O , es $2,130$

que resulta algo menor que el medido. El mineral no presenta fluorescencia o fosforescencia con radiación ultravioleta larga o corta.

Las propiedades ópticas del mineral estudiado se indican en la Tabla 2, donde se presentan además los datos obtenidos por otros autores, puede observarse que los valores para el mineral de Tincalayu son muy aproximados a los obtenidos con especímenes de otras localidades.

TABLA 2 - Propiedades ópticas de la probertita.

	Eakle (1929)	Schaller (1930)	C. S. Ross en Schaller (1930)	Foshag (1931)	Melnitskaya (1963)	Zaritskiy (1963)	Este estudio
	1	2	3	4	5	6	7
∞	1,515	1,515	1,514	1,517	1,515	1,515	1,516
β	1,520	1,525	1,524	1,525	1,525	1,525	1,525
δ	1,538	1,544	1,543	1,544	1,544	1,543	1,546
Birrefringencia	0,023	0,029	0,029	0,027	0,029	0,028	0,030
$2V$ med. calc.	grande	73°			73°		66°
Signo	+	+	+	+	+	+	+
$Y =$		b		b			b
$Z \wedge c =$	12°	12°		13°	8° - 16°	12°	17°
Dispersión		$r > v$					$r > v$
Elongación	+	+			+	+	+

1, 2 y 3 Kramer, California, USA; 4 Ryan, California, USA; 5 Depósitos de yeso del Pérmico inferior, URSS. 6. Bakhmuta, Ucrania, URSS; 7 Tincalayu, Salta, Argentina, para la nueva orientación con $P 2_1/a$

En la Fig. 4 se grafica la relación entre los ejes cristalográficos y los elementos ópticos del mineral vista desde el eje $-b$, es decir proyectada sobre el plano (010), de acuerdo con la nueva orientación del cristal.

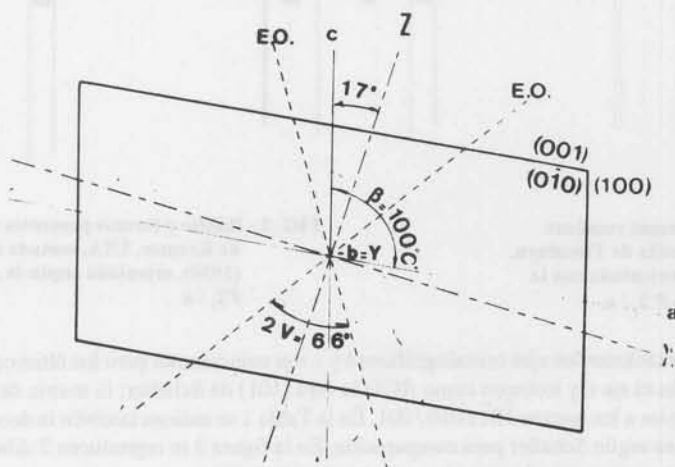


FIG. 4 - Orientación óptica de la probertita, proyectada en el plano (010), orientada con la celda $P 2_1/a$

DATOS CON RAYOS X

El mineral fue estudiado mediante métodos de cristal único y de polvo. En el primer caso se utilizó una cámara de tipo precesión, con radiación de molibdeno y filtro de zirconio; la Tabla 3 presenta los datos de la celda unitaria determinados para este estudio así como los publicados por otros autores. Los parámetros de la celda fueron refinados utilizando la información de los diagramas de polvo mediante una computadora digital por el método de los mínimos cuadrados según el programa de Appleman y Evans (1973). Los valores obtenidos concuerdan con los equivalentes hallados mediante goniometría óptica (Tabla 1).

TABLA 4 - Datos del diagrama de polvo de rayos X de proberfita de Tincalayu, Salta, Argentina.

Este estudio ¹			Clark y Christ (1959) ²			Cipriani (1958) ³		
hkl P_{21}/a	$d \text{ \AA}$ calculado	$d \text{ \AA}$ observado	hkl P_{21}/a	$d \text{ \AA}$ calculado	$d \text{ \AA}$ observado	hkl P_{21}/n	$d \text{ \AA}$ observado	l/l_0
110	9,104	9,09	110	9,108	9,12	110	9,12	100
200	6,609	6,61	200	6,608	6,62	200	6,62	11
020	6,279	6,29						
210	5,848	5,85	011	5,762	5,74	111	5,85	1
011	5,766	5,75					5,77	2
120	5,671	5,67	111	5,000	5,02	211	5,67	1
111	5,009	5,02	211	4,729	4,73	211	5,00	1
211	4,721	4,729	220	4,554		111	4,72	1
220	4,552	4,553				220		5
121	4,438	4,441	021	4,531	4,53	121	4,50	
310	4,157	4,160	121	4,442	4,44	021	4,44	1
211	4,046	4,046	310	4,157	4,16	310	4,15	2
130	3,991	3,993	211	4,038	4,03	311	4,04	2
311	3,795	3,798	130	3,994	4,00	130	3,99	5
230	3,536	3,537	311	3,802	3,80	211		
221	3,533	3,533	230	3,539	3,52	230		3
321	3,362	3,362	031	3,519	3,52	321	3,53	
400	3,304	3,304	321	3,368	3,37	131		
			131	3,322	3,31	231		2
			400	3,304	3,31	400	3,30	2
231	3,234	3,233	002	3,242	3,24	202	3,23	2
410	3,195	3,197	231	3,239	3,24	131		
112	3,189	3,179	410	3,195	3,18	410		
401	3,176	3,176	401	3,182	3,18	301		
			112	3,180	3,18	112		
202	3,137	3,135	040	3,143	3,14	040		
411	3,079	3,080	202	3,140	3,14	002		1
140	3,054	3,052	012	3,139	3,14	212	3,08	1
330	3,035	3,035	411	3,084	3,08	311	3,05	2
420	2,924	2,925	140	3,057	3,08-3,04	140	3,03	2
			212	3,046		112		7
			330	3,036		330	2,92	3
			112	2,942		312		2
331	2,885	2,885	420	2,924	2,935	420	2,885	2
022	2,883	2,883	331	2,889	2,884	231	2,885	3
240	2,836	2,835	022	2,881	2,884	222	2,885	3
421	2,834	2,834	421	2,839	2,837	321	2,835	2
141	2,807	2,807	240	2,838	2,837	240	2,806	4
222	2,806	2,807	041	2,828	2,807	041		
			141	2,810	2,807	041		
			222	2,809	2,807	022		
202	2,731	2,727	312	2,794	2,794	112	2,731	1
122	2,730	2,730	2727	2,727	2,727	322	2,692	1
411	2,693	2,691	202	2,725	2,725	402		
			141	2,712	2,712	341		
			411	2,697	2,689	511		